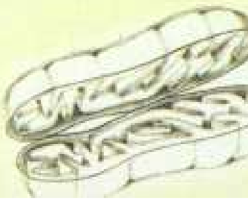
मनोविकास प्रकाशन

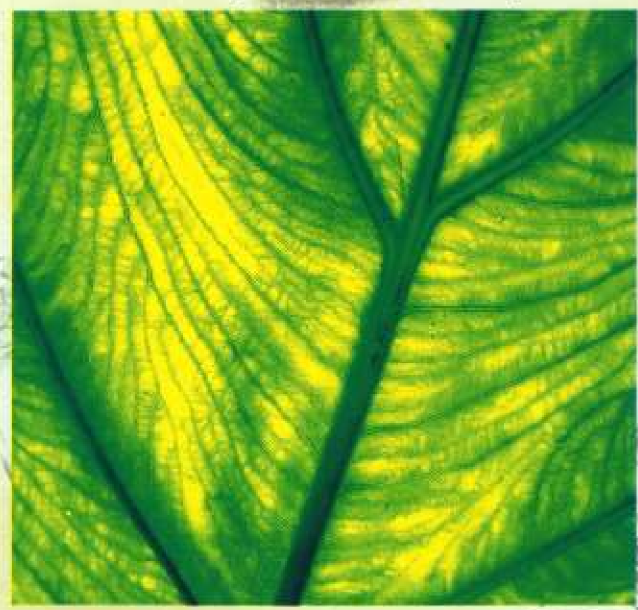
आपण सर्व जण म्हणजे मानव व सर्व प्राणी जिवंत असेपर्यंत श्वासोच्छ्वास करतो तेव्हा हवेतील प्राणवायूच्या रेणूंचा वापर करतो. दर मिनिटाला प्राणवायू वापरला जात असूनदेखील तो संपून कसा जात नाही? आपण सर्व अन्न वनस्पतींपासून येते. वनस्पती त्यांच्या वाढीसाठी व नवी बीजे बनविण्यासाठी कशाचा वापर करतात? ३०० वर्षांपूर्वी फॉन हेल्मॉट व नंतर स्टीफन हेल्स् यांनी हे प्रश्न उपस्थित केले. हवेत निरनिराळे वायू असतात असे त्यांना दिसून आले. आपण उच्छ्वासातून कर्बद्विप्राणील वायू बाहेर टाकतो आणि वनस्पती त्यांच्या वापराने परत प्राणवायू कसा तयार करतात हे इतर प्रतिभावान शास्त्रज्ञांनी शोधून काढले. निसर्गातील या अत्यंत गुंतागुंतीच्या प्रक्रियेचा शोध लावणे हे देखील तितकेच गुंतागुंतीचे होते. आपले जीवन आणि पृथ्वी वाचविण्यासाठी हिरव्या वनस्पतींची वाढ करणे अतिशय गरजेचे आहे हे गेल्या शतकात आपल्या लक्षात आले आहे. त्यामागील शोधांची ही कथा आहे.



शोधांच्या कथा

प्रकाशसंश्लेषण

आयझॅक आसिमॉव्ह



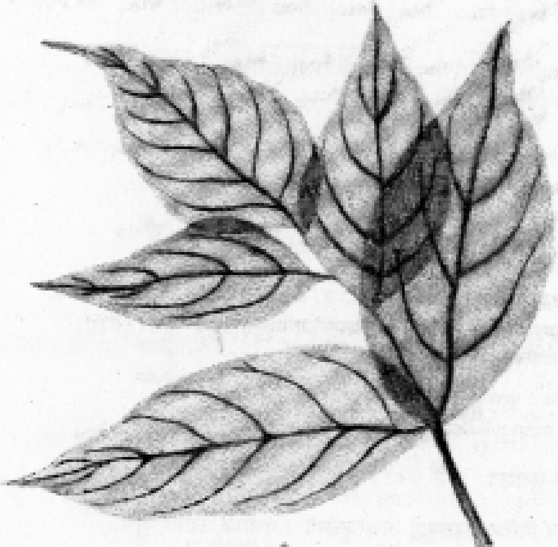
अनुवाद-सुजाता गोडबोले

शोधांच्या कथा

प्रकाश संश्लेषण

आयझॅक आसिमॉव्ह

अनुवाद : सुजाता गोडबोले



मनोविकास प्रकाशन

Shodhanchya Katha - Prakash Sansleshan
शोधांच्या कथा – प्रकाश संश्लेषण

प्रकाशक । अरविंद घन:श्याम पाटकर
मनोविकास प्रकाशन, सदनिका क्र. ३/अ, चौथा मजला, शक्ती टॉवर्स, ६७२, नारायण पेठ, नू. म. वि. समोरील गल्ली, पुणे – ४११०३०.
दूरध्वनी : ०२०-६५२६२९५०
Website : www.manovikasprakashan.com
Email : manovikaspublication@gmail.com

© हक्क सुरक्षित

मुखपृष्ठ । गिरीश सहस्रबुद्धे अक्षरजुळणी । गणराज उद्योग, पुणे.
मुद्रक । बालाजी एन्टरप्रायजेस, पुणे. प्रथमावृत्ती । ११ जून २०१२
ISBN : 978-93-81636-86-2

मूल्य । रुपये ३५

अनुक्रमणिका

१ प्राणवायू-४

२ सूर्यप्रकाश व कर्बोदके-१३

३ हरितद्रव्य-२२

४ मधले दुवे-३१

५ सुरुवात-४५

१ प्राणवायू

आपण सर्व जण श्वास घेतो म्हणजे आपल्या फुफ्फुसात आपण हवा ओढून घेतो.

आपण श्वास घेतो त्या हवेत एक-पंचमांश प्राणवायू (ऑक्सिजन) असतो आणि हवेतील प्राणवायूचे हे कणच आपण वापरतो. आपल्या शरीरातील कार्बन (कर्ब) व हायड्रोजन असणाऱ्या घटकांचा प्राणवायूशी संयोग होतो. कार्बनचा प्राणवायूशी संयोग झाला की त्यातून कर्बद्विप्राणील वायू (कार्बन डायॉक्साइड) तयार होतो. हायड्रोजन व प्राणवायूच्या संयोगातून पाणी बनते.

आपण श्वास जेव्हा बाहेर टाकतो, तेव्हा फुफ्फुसातून येणाऱ्या हवेत श्वास घेताना होता त्यापेक्षा कमी प्राणवायू असतो. त्याऐवजी त्यात कर्बद्विप्राणील वायू व पाण्याची वाफ असते. या संपूर्ण क्रियेला श्वासोच्छ्वास म्हणतात.

आपण कायम श्वास घेत असतो. सर्वच माणसे आणि प्राणीदेखील सर्व वेळ श्वासोच्छ्वास करत असतात. माणसे व प्राणी कोट्यवधी वर्षांपासून श्वास घेत आहेत. मग हवेतील प्राणवायू अद्याप संपला कसा नाही? त्याची जागा कर्बद्विप्राणील वायू व पाण्याच्या वाफेने कशी काय घेतली नाही?

शरीरातील कार्बन व हायड्रोजन असणाऱ्या घटकांचे काय? श्वास घेतलेल्या प्राणवायूशी संयोग होऊन ते संपून कसे जात नाहीत?

कार्बन व हायड्रोजनची झीज भरून येण्यासाठी आपण हे अणू असणारे अन्न खातो. अन्नातील कार्बन व हायड्रोजन कुठून येते? आपण निरनिराळ्या प्रकारच्या वनस्पती म्हणजे भाज्या व फळे

खातो. तसेच आपण कोंबड्या, बकऱ्या किंवा इतर प्राण्यांचे मांसही खातो; व त्यांनी वनस्पती खाल्लेल्या असतात. अखेर कार्बन व प्राणवायू वनस्पतींमधूनच मिळतो आणि जगातील सर्व प्राण्यांचे, कोणत्या ना कोणत्या प्रकारे, तेच खाद्य आहे.

पण मग वनस्पतींना कार्बन व हायड्रोजन कुठून मिळतो? त्या तर काही खात नाहीत.

हे दोन मोठे प्रश्न आहेत : आपण श्वास घेऊनही हवा संपत कशी नाही? आपण खाऊनदेखील सर्व अन्न संपत कसे नाही?

हवेपेक्षा वनस्पतींचा अभ्यास करणे सोपे आहे. निदान वनस्पती आपल्याला दिसतात आणि त्यांची वाढ आपण पाहू शकतो. जमिनीत पेरून त्यांना पाणी घातल्याशिवाय झाडे वाढत नाहीत. म्हणून झाडे वाढण्यासाठी माती आणि पाणी यांचा त्यात सहभाग असावा.

१६४३ साली, जॅन बॅप्टिस्टा वॉन हेल्मॉट या बेल्जियन शास्त्रज्ञाने प्रयोग करून याचा छडा लावायचे ठरवले. मातीचे वजन करून त्यात त्याने एक विलोचे रोपटे लावले. माती असलेली ही कुंडी त्याने आच्छादून ठेवली, म्हणजे तो स्वतः घालत असलेल्या पाण्याशिवाय इतर काहीच त्यात येणार नाही. पाच वर्षे त्याने या झाडाला काळजीपूर्वक पाणी घातले व नंतर ते मुळासकट उपटून काढले व मुळांना चिकटलेली सर्व माती परत कुंडीत टाकली.

झाडाचे वजन आता १६४ पौंड झाले होते, पण मातीचे वजन मात्र फक्त दोन औंसच कमी झाले होते, असे हेल्मॉटच्या लक्षात आले. म्हणजे मातीचे रूपांतर झाडात झाले नव्हते, तर पाण्याचे झाले असावे, असा त्याने निष्कर्ष काढला.

अर्थात, हेल्मॉटच्या काळात, निरनिराळ्या पदार्थात निरनिराळे अणू असतात हे माहीत झालेले नव्हते. पाण्यात फक्त प्राणवायू व हायड्रोजनचे अणू असतात, तर झाडांमध्ये प्राणवायू, हायड्रोजन व कार्बनचे अणू असतात, हे हेल्मॉटला माहीत नव्हते.

हेल्मॉंटच्या झाडाचा फक्त माती व पाणी या दोनच गोष्टींशी संपर्क आला नव्हता. त्याचा हवेशीही संपर्क झाला होता, पण हेल्मॉंटने ते विचारात घेतले नव्हते. हवा दिसत नाही किंवा जाणवतही नाही, म्हणून सहसा त्याकडे दुर्लक्षच केले जात असे. त्या काळी कोणीच हवेचा विचार करत नसत.

तरीही हेल्मॉंटने हवेचा अभ्यास केला होता, पण तो झाडाच्या संदर्भात नव्हता. हवा निरनिराळ्या प्रकारची असते, असा त्यानेच सर्वप्रथम शोध लावला होता. अर्थात, हवेचे हे प्रकार अदृश्यच असतात आणि त्यांना काही आकारही नसतो, म्हणून प्राचीन ग्रीक लोक ज्याला 'केऑस' म्हणजे सर्व 'मिसळलेले, आकारहीन' म्हणतात तसेच आहे, असे त्याचे मत झाले. तो शब्द त्याने त्याच्या भाषेत उच्चारला, तेव्हा त्याचा उच्चार 'गॅस' असा झाला. आजही आपण हवेसंबंधी व हवेसारख्या इतर वायूंबद्दल बोलताना इंग्रजीत हाच शब्द वापरतो.

लाकूड जाळले असता नेहमीच्या हवेपेक्षा निराळीच हवा निर्माण होते, असे हेल्मॉंटच्या निदर्शनास आले. वस्तू जशा हवेत जळतात त्याप्रमाणे लाकडापासून निघालेल्या या वायूत जळत नाहीत. नेहमीची हवा पाण्यात विरघळत नाही, पण हा वायू विरघळे. आपण आता ज्याला कर्बद्विप्राणील वायू म्हणतो त्या वायूचा हेल्मॉंटने अभ्यास केला होता.

वनस्पतींच्या वाढीसाठी कर्बद्विप्राणील वायू फारच महत्त्वाचा असतो असे नंतर समजून आले, पण त्या वेळी हेल्मॉंटच्या ते लक्षात आले नव्हते.

इतर शास्त्रज्ञांनाही वायूंत स्वारस्य निर्माण झाले. स्टीफन हॅलीस (१६७७-१७६१) या इंग्रज शास्त्रज्ञाने त्यांचा तपशीलवार अभ्यास केला व १७२७ साली एखाद्या वायूचा वनस्पतींच्या वाढीशी संबंध असावा, अशी त्याला शंका आली; परंतु हा नेमका कोणता

जॅन बॉरिस्टा वॉन हेल्मॉंट

वायू असेल याचा मात्र त्याला पत्ता लागला नाही.

जोसेफ ब्लॅक (१७२८-१७९९) या दुसऱ्या एका इंग्रज शास्त्रज्ञाने १७५६ साली कर्बद्विप्राणील वायूचा अभ्यास केला व त्याचा चुना या खनिजाशी संयोग झाल्यास त्यातून चुनखडी हे नवे खनिज बनते, असा त्याला शोध लागला.

चुना कर्बद्विप्राणील वायूच्या संगतीत ठेवण्याची गरज नाही असेही त्याच्या लक्षात आले. चुना जरी नुसता हवेत ठेवला, तरी संथ गतीने हे रूपांतर होत असे. याचा अर्थ, आपल्या आजूबाजूच्या हवेत अगदी थोड्याफार प्रमाणात का होईना, पण कर्बद्विप्राणील वायू असतो.

डॅनिएल रदरफोर्ड (१७४९-१८१९) या आणखी एका इंग्रज शास्त्रज्ञाने १७७२ साली हवा असलेल्या एका बंद हंडीत एक पेटती मेणबत्ती ठेवली. थोड्या वेळाने ही मेणबत्ती विझली. जळत्या मेणबत्तीतून कर्बद्विप्राणील वायू निर्माण होतो हे तोपर्यंत माहीत झाले होते. म्हणजे मेणबत्तीने सर्व हवा वापरली व तिची जागा कर्बद्विप्राणील वायूने घेतली, असेच यावरून दिसून आले.

तथापि, कर्बद्विप्राणील वायूचा काही रसायनांशी संयोग होतो. हंडीत ती रसायने घालून रदरफोर्डने सर्व कर्बद्विप्राणील वायू काढून टाकला, तरीही हंडीत इतर बराच वायू शिल्लक होता, पण तरीही मेणबत्ती मात्र त्यात जळत नव्हती.

हवेत कर्बद्विप्राणील वायूखेरीज आणखीही वायू असतो, पण त्यांचे ज्वलन होत नाही, असा रदरफोर्डने निष्कर्ष काढला. कालांतराने या वायूला नत्रवायू (नायट्रोजन) असे नाव देण्यात आले.

मग १७७४ साली जोसेफ प्रिस्टले (१७३३-१८०४) या आणखी एका इंग्रज शास्त्रज्ञाने हवेतील असा एक वायू शोधून काढला, की ज्यात वस्तू जोमदारपणे जळत असे. एखादा धुमसता लाकडाचा तुकडा या वायूत ठेवला, तर त्यातून लगेच ज्वाळा निघू

अन्त्वान लाव्हाझिये

लागत. कालांतराने या वायूला प्राणवायू (ऑक्सिजन) असे नाव दिले गेले.

अखेर १७७५ साली अन्त्वान लोराँ लाव्हाझिये (१७४३-१७९४) या फ्रेंच शास्त्रज्ञाने ही सर्व माहिती एकत्रित केली. हवा हे दोन वायूंचे मिश्रण आहे असे त्याने सांगितले. हवेत सुमारे ४/५ नत्रवायू असून प्राणवायू सुमारे १/५ आहे. प्राणवायूमुळेच वस्तूंचे हवेत ज्वलन होऊ शकते व प्राणवायूमुळेच मनुष्यप्राण्यासह सर्व प्राणी जिवंत राहतात. (हवेत, १/३००० इतक्या अल्प प्रमाणात कर्बद्विप्राणील वायूही आहे.)

एकदा लाव्हाझियेने हे सिद्ध केल्यावर अर्थातच पुढचा प्रश्न होता, की सर्वांचे श्वासोच्छ्वास व पृथ्वीवर एवढ्या मोठ्या प्रमाणात अग्नीचा वापर असूनही पृथ्वीवरील सर्व प्राणवायूची जागा कर्बद्विप्राणील वायूने कशी काय घेतली नाही? तसे झाल्यास श्वास घेणारे सर्व प्राणी मरून जातील आणि कोणताच अग्नी जळू शकणार नाही. तरीही सर्व प्राणी भरपूर श्वास घेत होते, अनेक आगी जळत होत्या आणि शिवाय हवेत भरपूर प्राणवायू होता.

म्हणजेच हवेतील प्राणवायू जसजसा संपेल तसाच तो कशाने तरी परत पूर्वपदावर येत होता. हे कशाने होत असेल?

या उत्तराची सुरुवात प्रिस्टलेपासूनच झाली. १७७१ साली प्रिस्टलेने एक उंदीर एका हवा भरलेल्या बंद हंडीत ठेवला. अखेर त्या उंदराने आपल्या श्वासोच्छ्वासाद्वारे इतका प्राणवायू वापरला, की उरलेल्या हवेवर तो जगू शकला नाही आणि मरण पावला.

अशा हवेत वनस्पतीदेखील मरून जातील का, अशी प्रिस्टलेला शंका आली. त्याने मेलेला उंदीर बाहेर काढला व पुदीन्याची एक फांदी पाण्याच्या पेल्यात घालून त्याच बंद हंडीत ठेवली.

हे छोटेसे झाड काही मेले नाही. ते अनेक महिने त्या हंडीत चांगल्या प्रकारे वाढत राहिले. विशेष म्हणजे, शेवटी प्रिस्टलेने एक

जोसेफ प्रिस्टले

उंदीर या हंडीत ठेवल्यावर तो जिवंत तर राहिलाच आणि इकडे तिकडे फिरू लागला. शिवाय त्या हंडीत आता मेणबत्तीही जळू शकत होती.

नेमके काय घडले असेल ते प्रिस्टलेला समजले नाही, कारण तोपर्यंत त्याला प्राणवायूचा शोध लागला नव्हता. एकदा लाव्हॉझियेने हवेचे स्वरूप निश्चित केल्यावर सर्व काही स्पष्ट झाले. प्राण्यांनी हवेतील प्राणवायू वापरला, की वनस्पती तो परत भरून काढतात. पृथ्वीवर जोपर्यंत वनस्पती आहेत, तोपर्यंत प्राणवायू कधीच संपणार नाही. यामुळे त्या काळच्या शास्त्रज्ञांना खूपच दिलासा मिळाला. पण आज शेतीसाठी हजारो एकर वर्षाजंगलांचा (रेन फॉरेस्ट) नाश होत असताना व लाकडी सामानाच्या वाढत्या मागणीमुळे मोठ्या प्रमाणावर झाडांची तोड होत असल्यामुळे आपण मात्र तसे म्हणू शकत नाही.

२ | सूर्यप्रकाश व कर्बोदके

मानवी शरीरातील घटकांशी प्राणवायूचा संयोग होऊन कर्बद्विप्राणील वायू व पाणी तयार होते त्याचप्रमाणे त्या वेळी ऊर्जाही निर्माण होते. ऊर्जेमुळे कार्य करता येते. प्राणवायू व शरीरातील घटक यांच्यातून निर्माण होणाऱ्या रासायनिक ऊर्जेमुळे आपण हालचाल व इतर क्रियाही करू शकतो.

प्रिस्टलेच्या काळी शास्त्रज्ञांना ऊर्जेसंबंधी फारशी माहिती नव्हती, पण कालांतराने तिचा शोध लागला. कार्बन व हायड्रोजनच्या अणूंशी प्राणवायूचा संयोग झाल्याने कर्बद्विप्राणील वायू व पाणी तयार होऊन त्यांतून ऊर्जा निर्माण होत असेल, तर त्याच्या उलटही होऊ शकत असेल का? म्हणजे प्राणवायू तयार करून तो परत हवेत सोडता येईल. कालांतराने ऊर्जेची परिस्थितीही उलटच होईल हे शास्त्रज्ञांच्या लक्षात आले. प्राणवायू तयार करण्यासाठीही ऊर्जेचा वापर होईल. याचा अर्थ, वनस्पती जर प्राणवायू तयार करत असतील, तर त्यासाठी त्यांना प्रथम ऊर्जा मिळवावी लागेल. ही ऊर्जा कुठून आली?

जॅन इंगेनहौझ (१७३०-१७९९) या डच शास्त्रज्ञाने याचे उत्तर शोधून काढले. वनस्पती कशा प्रकारे प्राणवायू तयार करतात यासंबंधी त्याचा अभ्यास चालू होता. १७७९ साली त्याच्या असे लक्षात आले, की हे फक्त प्रकाशातच घडते. अंधारात झाडे प्राणवायू बनवत नाहीत.

सूर्यप्रकाशात ऊर्जा असते व या ऊर्जेमुळेच झाडांची वाढ होते व अन्न म्हणून प्राणी जे खातात ते गुंतागुंतीचे घटक तयार करणे त्यांना शक्य होते. सूर्यप्रकाशातील ऊर्जेमुळेच वनस्पती

प्राणवायू निर्माण करू शकतात.

साध्या घटकांपासून गुंतागुंतीचे घटक तयार करणे याला शास्त्रज्ञ 'सिंथेसिस' (संयोग) असे म्हणतात. 'एकत्र करणे' या अर्थाच्या ग्रीक शब्दांपासून हा शब्द आला आहे. हे शक्य होण्यासाठी जेव्हा प्रकाशातील ऊर्जा वापरली जाते तेव्हा त्या प्रक्रियेला 'फोटोसिंथेसिस', म्हणजेच मराठीत 'प्रकाश संश्लेषण' म्हणतात. याचा शब्दश: अर्थ होतो 'उजेडाने एकत्र केलेले'.

'प्रकाश संश्लेषण' ही पृथ्वीवरील सर्वात महत्त्वाची रासायनिक प्रक्रिया आहे. मनुष्यप्राण्यांसह सर्व प्राण्यांना आवश्यक असणारे अन्न व प्राणवायू यातूनच मिळतो.

पाण्यातून फक्त हायड्रोजन व प्राणवायूच मिळत असल्याने कार्बनचे अणू कशातून मिळत असतील, हा प्रश्न शिल्लक राहतोच.

जीन सेनेबिये (१७४२-१८०९) या स्विस शास्त्रज्ञाने १७८२ साली प्रथमच सुचवले, की हवेतील कर्बद्विप्राणील वायूमधून कार्बनचे अणू मिळत असावेत.

निकोलस थिओडोर द सोस्यूर (१७६७-१८४५) या आणखी एका स्विस शास्त्रज्ञाने १८०४ साली हेल्मॉंटचा प्रयोग परत एकदा करून पाहिला. मात्र, या वेळी त्याने झाडाला काळजीपूर्वक कर्बद्विप्राणील वायू व पाणी दिले. प्रत्येक घटक किती वापरला गेला व झाडाचे वजन किती वाढले हे त्याने मोजले. झाडाची वाढ खरोखरच कर्बद्विप्राणील वायू व पाणी यांच्यातून झाली होती, असे त्याने दाखवून दिले.

म्हणजे हे पुढीलप्रमाणे दिसते. वनस्पतींच्या बाबतीत : कर्बद्विप्राणील वायू + पाणी + प्रकाशातील ऊर्जा = अन्न + प्राणवायू (प्रकाश संश्लेषण).

प्राण्यांच्या बाबतीत : अन्न + प्राणवायू = कर्बद्विप्राणील वायू + पाणी + रासायनिक ऊर्जा (श्वासोच्छ्वास).

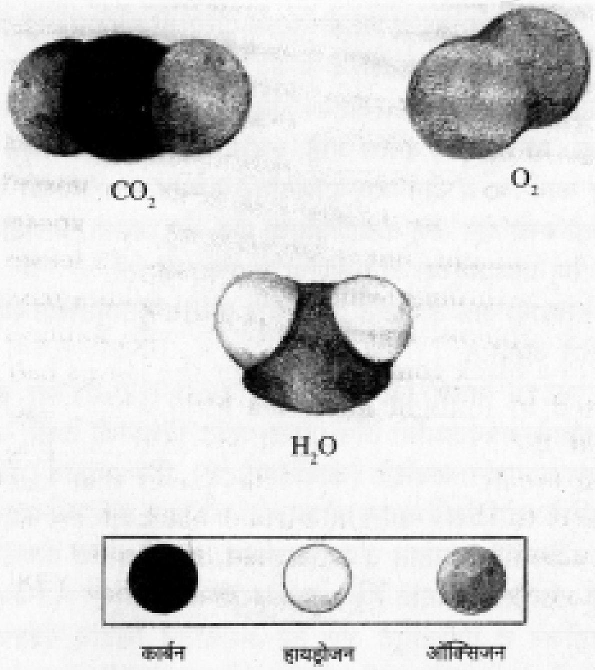
प्रकाश संश्लेषण व श्वासोच्छ्वास हे विरुद्ध दिशांनी कार्य करतात. यात प्रकाशाच्या ऊर्जेचे रासायनिक ऊर्जेत रूपांतर होते. प्रकाशातील ऊर्जा वापरली जाते, पण अन्न व प्राणवायू वापरले जात नाहीत. आपल्याला प्रकाशाच्या ऊर्जेची काळजी करायचे काहीच कारण नाही, कारण सूर्य अब्जावधी वर्षांपासून ती आपल्याला देतो आहे व आणखी अब्जावधी वर्षे ती देणारच आहे.

प्रकाश संश्लेषण व श्वासोच्छ्वास यांच्याशी संबंधित घटकांपैकी कर्बद्विप्राणील वायू, पाणी व प्राणवायू हे घटक साधेच आहेत. प्रत्येक घटक अणूंच्या (ॲटम) एकत्रीकरणातून बनलेल्या सूक्ष्म रेणूंचा (मॉलिक्युल) बनला आहे. कर्बद्विप्राणील वायूच्या रेणूत एक अणू कार्बनचा व दोन अणू प्राणवायूचे असतात. पाण्याच्या रेणूत हायड्रोजनचे दोन अणू व प्राणवायूचा एक अणू असतो. प्राणवायूचा एक रेणू प्राणवायूच्या दोन अणूंचा बनलेला असतो.

तथापी अन्न व जिवंत प्राणी मात्र बऱ्याच गुंतागुंतींच्या रेणूंतून बनलेले असतात.

१८१५ साली विल्यम प्राउट (१७८५-१८५०) या इंग्रज शास्त्रज्ञाने अन्नपदार्थांची तीन प्रमुख गटांत विभागणी केली. आज आपण या गटांना कर्बोदके (कार्बोहायड्रेट्स), स्निग्ध पदार्थ (फॅट्स) व प्रथिने (प्रोटिन्स) म्हणून ओळखतो. कर्बोदके व स्निग्ध पदार्थांचे रेणू बरेच मोठे असतात व त्यांत कार्बन, हायड्रोजन व प्राणवायूचे अणू असतात. प्रथिनांचे रेणू तर त्याहूनही मोठे असून त्यात कार्बन, हायड्रोजन व प्राणवायूचे अणू तर असतातच शिवाय नत्रवायू व गंधकाचे (सल्फर) अणूही असतात, शिवाय काही वेळा इतरही काही प्रकारचे अणू असतात.

या तीन प्रकारांपैकी वनस्पतींमध्ये प्रामुख्याने कर्बोदके असतात. सर्व वनस्पतींमध्ये सेल्युलोज नावाचे एक मूलद्रव्य असते, हे एक कर्बोदक असून लाकडातील प्रमुख घटक होय. सेल्युलोज घन व



कर्बद्विप्राणील वायू, प्राणवायू व पाण्याचे रेणू

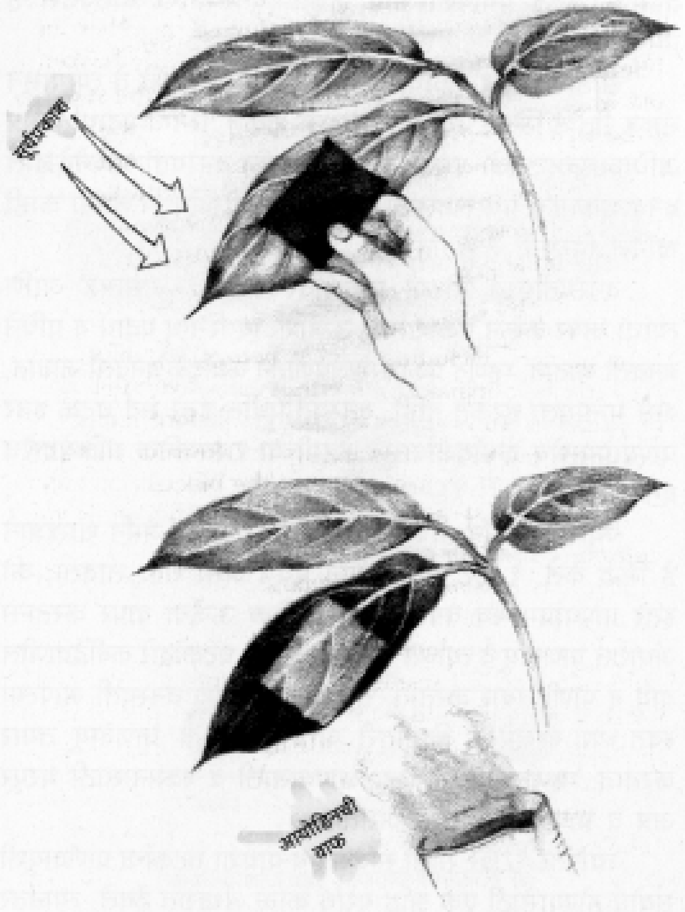
बळकट असते आणि झाडाला आधार देते. नेहमी आढळणारा कर्बोदकाचा आणखी एक प्रकार म्हणजे पिष्टमय पदार्थ (स्टार्च)- ते मऊ असून पचायला सोपे असते. वनस्पतींनी साठवलेले हे प्रमुख अन्न आहे.

झाडाकडे कर्बोदकांचा पुरेसा साठा असला, की ते त्यापासून सहज रीतीने स्निग्ध पदार्थ तयार करू शकते. स्निग्ध पदार्थात अन्न अधिक एकवटलेले असते. कर्बोदकांपासून वनस्पती प्रथिनेदेखील बनवू शकतात, पण त्यासाठी जमीन व पाणी यांमधून त्यांना काही खनिजे मिळावी लागतात.

वनस्पतींमध्ये मोठ्या प्रमाणावर कर्बोदके असतात आणि त्यांचा वापर करून प्रकाशाच्या ऊर्जेशिवाय स्निग्ध पदार्थ व प्रथिने बनवली जातात, म्हणून प्रकाशसंश्लेषणातून कर्बोदके बनवली जातात, असे मानायला हरकत नाही. वनस्पतींमधील इतर सर्व घटक इतर प्राण्यांप्रमाणेच कर्बोदकांपासून नेहमीच्या रासायनिक प्रक्रियेद्वारेच बनवले जातात.

ज्युलियस फॉन साक्स (१८३२-१८९७) या जर्मन शास्त्रज्ञाने हे सिद्ध केले. १८६८ साली त्याने प्रथम असा शोध लावला, की इतर प्राण्यांप्रमाणेच वनस्पती रासायनिक ऊर्जेचा वापर करताना अंधारात प्राणवायू व त्यांच्या शरीरातील इतर घटकांद्वारे कर्बद्विप्राणील वायू व पाणी तयार करतात. सूर्यप्रकाशात मात्र वनस्पती आपल्या स्वतःच्या गरजेपेक्षा कितीतरी अधिक अन्न व प्राणवायू तयार करतात, म्हणून प्राणिमात्रांना खाण्यासाठी व श्वसनासाठी भरपूर अन्न व प्राणवायू उपलब्ध असतो.

त्यानंतर १८७२ साली साक्सने बऱ्याचशा घटकांचा प्राणवायूशी संयोग होण्यासाठी एक झाड बराच काळ अंधारात ठेवले. त्यानंतर प्रकाशसंश्लेषणाच्या प्रक्रियेने चटकन अन्न तयार करण्याची झाडाची तयारी झाली होती. साक्सने आता हे झाड सूर्यप्रकाशात ठेवले,



फॉन साक्सचा प्रयोग

पण पानांचा काही भाग काळ्या रंगाच्या कागदात गुंडाळला, जेणेकरून सूर्यप्रकाश त्यांच्यापर्यंत पोचणार नाही.

आयोडीनच्या वाफेचा पिष्टमय पदार्थाशी- स्टार्चशी- संयोग झाला, तर त्यातून एक काळ्या रंगाचा पदार्थ बनतो. पानांना थोडाच वेळ सूर्यप्रकाश दिल्यावर साक्सने पानांभोवतीचा काळा कागद काढला व पानांवर आयोडीनची वाफ सोडली. पानांच्या ज्या भागाला सूर्यप्रकाश मिळाला होता, तो भाग लगेच काळा झाला. प्रकाशसंश्लेषणाने त्या भागात लगेच पिष्टमय पदार्थ तयार झाला होता. पानांचा जो भाग काळ्या कागदात गुंडाळला होता, तो मात्र काळा झाला नाही. त्यात पिष्टमय पदार्थ नव्हते.

प्रकाशसंश्लेषणामुळे कर्बोदक लगेच बनत असले, तरी सर्वप्रथम पिष्टमय पदार्थ बनत नसावे.

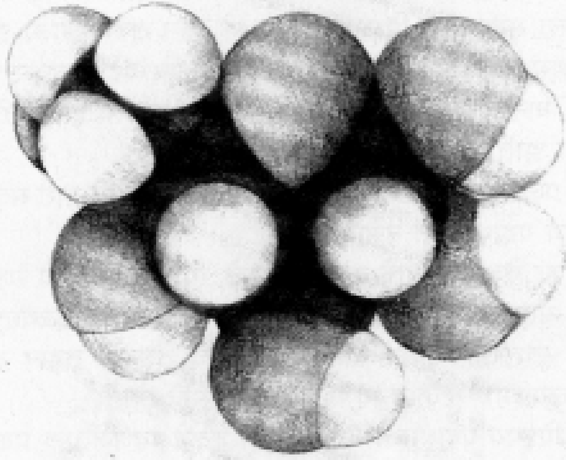
हा विचार येण्याचे कारण म्हणजे, पिष्टमय पदार्थाचे रेणू खूप मोठे असतात व रेणूंच्या शेकडो लहान लहान साखळ्यांतून ते तयार होतात. शिवाय पिष्टमय पदार्थाचे त्याच्या लहान लहान साखळ्यांच्या घटकांत विभाजन करणे सोपे असते.

पिष्टमय पदार्थाच्या रेणूंचे लहान तुकडे म्हणजे एक प्रकारची साखर असते. निसर्गात सर्वत्र सहज मिळणारी शर्करा म्हणजे पिष्टमय पदार्थाच्या रेणूच्या साखळीतील एक दुवा. त्याचे नाव आहे 'ग्लुकोज'.

सेल्युलोजच्या रेणूंची साखळी पिष्टमय पदार्थाच्या रेणूंच्या साखळीपेक्षाही लांब असते, पण सेल्युलोजमधीलही सर्वात लहान रेणू ग्लुकोजचाच असतो. फरक इतकाच, की ग्लुकोजचे रेणू निरनिराळ्या प्रकारांनी एकमेकांशी जोडलेले असतात. पिष्टमय पदार्थामधील हे दुवे चटकन सुटू शकतात आणि जेव्हा शरीरात हे होते, तेव्हा त्या पदार्थाचे पचन झाले असे आपण म्हणतो.

सेल्युलोजचे रेणू मात्र अधिक घट्ट रीतीने बांधलेले असतात

ग्लुकोजचे रेणू



आणि त्यांचे ग्लुकोजमध्ये विघटन होणे कठीण असते. काही पेशीय जीवच सेल्युलोज पचवू शकतात. (असे एकपेशीय जंतू वाळवीच्या आतड्यात असतात म्हणूनच वाळवी लाकडावर जगू शकते.)

मनुष्यप्राण्यांसह सर्व प्राण्यांना कर्बोदके, स्निग्ध पदार्थ किंवा प्रथिने या सर्वांपासून रासायनिक ऊर्जा मिळवता येते. प्रत्येक वेळी ऊर्जा मिळण्यापूर्वी त्या पदार्थाचे विघटन व्हावे लागते अथवा त्याचे ग्लुकोजमध्ये रूपांतर व्हावे लागते. ग्लुकोज रक्तप्रवाहात जाऊन शरीराच्या सर्व अवयवांपर्यंत पोचवले जाते. रासायनिक ऊर्जेसाठी ग्लुकोज हा एकमेव घटक आहे.

मग प्रकाशसंश्लेषणाने ग्लुकोज बनत असावे अशी कल्पना करणे योग्यच वाटते. वनस्पती ग्लुकोजचे चटकन पिष्टमय पदार्थामध्ये रूपांतर करू शकतात, गरजेप्रमाणे पिष्टमय पदार्थाचे सेल्युलोजमध्येही परावर्तन करू शकतात किंवा स्निग्ध पदार्थाच्या स्वरूपात ते साठवतात अथवा काही खनिजे मिसळून त्यांच्यापासून प्रथिनेही बनवतात. ग्लुकोजचा रेणू मध्यम आकाराचा असतो. त्यात कार्बनचे ६, हायड्रोजनचे १२ व प्राणवायूचे ६ अणू असतात. म्हणून प्रकाशसंश्लेषणाच्या प्रक्रियेतून बनलेला हा पहिलाच पदार्थ नसावा. ते कसे काय ते आपण नंतर पाहू.

३. हरितद्रव्य

आता यातून आणखी एक प्रश्न निर्माण होतो. (असे नेहमीच नवे प्रश्न उपस्थित होतात. शास्त्रज्ञांनी कितीही शोध लावले तरी आणखी नवी कोडी तयारच असतात. म्हणूनच विज्ञान मजेचे असते.)

केवळ वनस्पतीच सूर्यप्रकाशात अशा प्रकारे अन्न बनवू शकतात, प्राणी का नाही? प्राण्यांकडे नसणारी अशी कोणती तरी गोष्ट वनस्पतींकडे असली पाहिजे.

रंगाचा यात काही संबंध असेल का? झाडे हिरवी असतात, निदान त्यांचे काही महत्त्वाचे भाग हिरवे असतात. प्राणी तसे खरोखरीचे हिरवे नसतात. (काही पक्ष्यांची पिसे हिरवी असतात, पण पिसांचा हिरवा रंग हा झाडांच्या हिरव्या रंगापेक्षा निराळ्या रसायनांनी बनलेला असतो.)

झाडांचे हिरवे असणे हे खरोखर इतके महत्त्वाचे आहे का? असले पाहिजे. काही तऱ्हेचे जीव बऱ्याच प्रकारे वनस्पतींसारखेच असतात. त्यांची रचना तशीच असते, त्यांच्यातील बरीचशी रसायनेदेखील तीच असतात वगैरे वगैरे... परंतु या वनस्पती हिरव्या नसतात. अळंबी हे या प्रकाराचे एक उदाहरण आहे. अशा हिरव्या नसणाऱ्या वनस्पती सूर्यप्रकाशात अन्न बनवू शकत नाहीत.

हिरवी झाडेदेखील, जे भाग हिरवे आहेत त्यातच या प्रकारे अन्न बनवू शकतात. उदाहरणार्थ, झाडाच्या मुळात, सालीत अथवा फांद्यांमध्ये वगैरे अशा तऱ्हेने अन्न बनू शकत नाही, ते केवळ हिरव्या पानांतच बनू शकते.

१८१७ साली पियेर जोसेफ पेलतिये (१७८८-१८४२) व जोसेफ बिअॅनेम काव्हॅन्तू (१७९५-१८७७) या दोन फ्रेंच शास्त्रज्ञांनी झाडांमधून हा हिरवा पदार्थ वेगळा केला. 'हिरवे पान' या अर्थाच्या ग्रीक शब्दांवरून त्यांनी त्याला 'क्लोरोफिल' असे नाव दिले, आपण मराठीत याला 'हरितद्रव्य' म्हणून ओळखतो.

तथापि, हरितद्रव्याचा रेणू अतिशय गुंतागुंतीचा होता आणि जवळजवळ १०० वर्षांपर्यंत शास्त्रज्ञ याबाबत फारच थोडी माहिती मिळवू शकले. त्यांनी ही माहिती मिळवण्याचे खूपच प्रयत्न केले, कारण प्राण्यांत नसणाऱ्या पण केवळ हिरव्या वनस्पतींमधील याच घटकामुळे प्रकाशसंश्लेषण शक्य होत असणार अशी त्यांना खात्री वाटत होती.

अखेर १९०६ साली याची उत्तरे मिळण्यास सुरुवात झाली. रिचर्ड विल्श्टेटर (१८७२-१९४२) या जर्मन शास्त्रज्ञाच्या संशोधनातून हे शक्य झाले. अत्यंत शुद्ध स्वरूपात हरितद्रव्य (क्लोरोफिल) तयार करून त्याचा तपशीलवार अभ्यास करणारे ते पहिलेच शास्त्रज्ञ होते.

हरितद्रव्य हा एकच पदार्थ नसून बऱ्याचशा एकासारख्याच असणाऱ्या दोन निराळ्या रेणूंचा हा पदार्थ बनला होता. एकाला त्याने नाव दिले 'क्लोरोफिल-अ'. वनस्पतींमधील हरितद्रव्यापैकी सुमारे तीन-चतुर्थांश भाग याने व्यापला होता. उरलेल्या एक-चतुर्थांश भागाला नाव मिळाले 'क्लोरोफिल-ब'.

त्यानंतर विल्श्टेटरने हरितद्रव्याचे रेणू ज्या अणूंपासून बनले होते, त्यांचा अभ्यास केला. त्यात कार्बन, हायड्रोजन, प्राणवायू व नत्रवायूचे अणू होते असे त्याला आढळले. यात काहीच आश्चर्यकारक नाही. बहुतेक सर्वच सजीवांच्या रेणूत कार्बन, हायड्रोजन व प्राणवायूचे अणू तर असतातच, शिवाय नत्रवायूचे अणूही बहुतेकांत असतात.

परंतु मॅग्नेशियम या आणखी एका मूलद्रव्याचे अणूही त्यात सापडले, हे विशेष होते. सजीवांच्या रेणूंत मॅग्नेशियम असणारा

हरितद्रव्य हा पहिलाच रेणू होता.

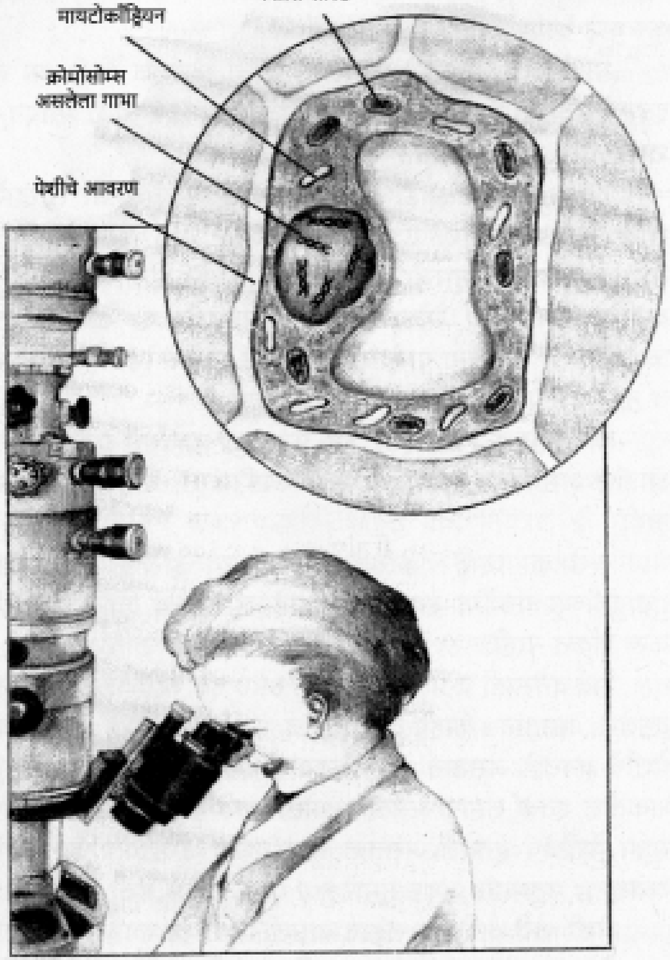
नंतर विल्श्टेटरने असे दाखवून दिले, की 'क्लोरोफिल-अ'च्या रेणूमध्ये कार्बनचे ५५, हायड्रोजनचे ७२, नत्रवायूचे ४, प्राणवायूचे ५ व मॅग्नेशियमचा १ अणू होता. क्लोरोफिल-ब जवळजवळ तसाच होता, पण त्यात हायड्रोजनचे फक्त ७० अणू होते, तर प्राणवायूचे ६ अणू होते.

विल्श्टेटर या सर्व अणूंची नेमकी रचना मात्र शोधू शकला नाही. तथापि, या रेणूत कार्बनचे ४ व नत्रवायूचा एक अणू असणारी लहान लहान वेटोळी होते हे मात्र त्याने शोधून काढले होते. अशा प्रकारच्या रचनेला 'पायरोल रिंग' असे नाव आहे. या संशोधनासाठी विल्श्टेटरला १९१५ साली रसायनशास्त्रातील नोबेल पारितोषिक देण्यात आले.

हॅन्स फिशर (१८८१-१९४५) या आणखी एका जर्मन शास्त्रज्ञाने हे संशोधन पुढे चालू ठेवले. चार पायरोल रिंग एकत्र करून त्यांची 'पॉर्फिरिन रिंग' नावाची एक मोठी रिंग बनते हे त्याने दाखवून दिले. या वेटोळ्याच्या केंद्रस्थानी लोहाचा एक अणू असून, वेटोळ्याच्या कडांना अणूंच्या काही साखळ्यांनी जखडलेले असणारे 'हीम' नावाचे एक नवे संयुग त्याने शोधले. या संयुगामुळेच रक्ताला तांबडा रंग मिळतो. १९३० सालच्या या संशोधनाबद्दल त्याला त्याच वर्षी रसायनशास्त्राचे नोबेल पारितोषिक मिळाले.

हरितद्रव्य बरेचसे या 'हीम'सारखेच असते असे नंतर दिसून आले. हरितद्रव्यात लोहाऐवजी मॅग्नेशियमचा एक अणू पॉर्फिरिन रिंगच्या मध्यभागी असतो व हरितद्रव्यातील कडांना जोडलेल्या साखळ्या निराळ्या व हीमपेक्षा अधिक गुंतागुंतीच्या होत्या, पण फिशरने आपल्या संशोधनाने हे सर्व सिद्ध केले.

याचा अखेरचा पुरावा रॉबर्ट बर्न्स वुडवर्ड (१९१७-१९७९) या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने १९६० साली सादर केला. त्याने सर्व अणू



इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शकाखाली दिसणारी वनस्पतीची पेशी

फिशरला अपेक्षित होते त्या पद्धतीने प्रत्यक्षात मांडून दाखवले. हिरव्या झाडांपासून मिळवलेल्या हरितद्रव्याचेच नेमके गुणधर्म असणारे द्रव्य त्याला मिळाले.

याचा अर्थ, फिशरने शोधलेली रचना बिनचूक होती. या व इतर महत्त्वाच्या संशोधनकार्यासाठी वुडवर्डला १९६५ साली रसायन-शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक देण्यात आले.

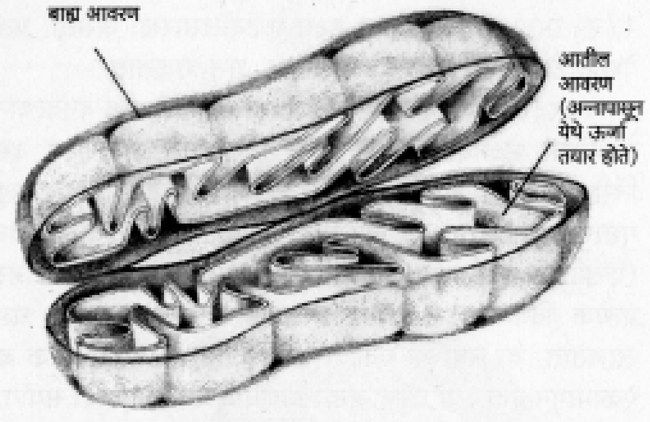
एकदा हिरव्या झाडांपासून हरितद्रव्य मिळवल्यावर त्याद्वारे शास्त्रज्ञांना प्रकाशसंश्लेषण घडवून आणता येईल असे कदाचित तुम्हाला वाटेल. समजा, हरितद्रव्य विरघळलेल्या पाण्यातून कर्बद्विप्राणील वायू सोडला. या हरितद्रव्याच्या उपस्थितीत कर्बद्विप्राणील वायूच्या पाण्याशी झालेल्या संयोगाने प्रथम ग्लुकोज व नंतर पिष्टमय पदार्थ बनायला नको का?

कदाचित बनायला हवा, पण प्रत्यक्षात मात्र तसे घडत नाही. झाडात असेपर्यंतच हरितद्रव्य असे कार्य करते, बाहेर पडल्यावर नाही.

असे का व्हावे? कारण वनस्पतींमध्ये हरितद्रव्य हे एका गुंतागुंतीच्या यंत्रणेचा एक घटक आहे, हरितद्रव्य एकटे हे कार्य करू शकत नाही.

सर्व वनस्पती व प्राणी सुमारे १/७५० इंच रुंदीच्या पेशींपासून बनलेले असतात. काही वनस्पती व प्राणी तर अशा एखाद्याच पेशीचे बनलेले असतात व ते केवळ सूक्ष्मदर्शक यंत्रातूनच दिसू शकतील इतके लहान असतात. मोठी झाडे व प्राणीदेखील अशा सूक्ष्म पेशींचेच बनलेले असतात, पण त्यात अशा अगणित पेशी असतात. मनुष्यात अशा सुमारे ५०,००० अब्ज पेशी असतात.

पेशी जरी अतिशय लहान असली, तरी तो काही पदार्थाचा एक गोळा नसतो. 'ऑर्गनेल्स' म्हणजेच 'अंगके' नावाच्या त्याहूनही लहान गोष्टींनी ती बनलेली असते. उदाहरणार्थ, प्रत्येक पेशीत एक



मायटोकॉंड्रियन

लहानसे केंद्र किंवा गाभा (न्युक्लियस) असून त्यात अनेक सूक्ष्म गुणसूत्रे अथवा रंगसूत्रे (क्रोमोसोम्स) असतात. एखाद्या पेशीचे दोन पेशीत विभाजन कशा पद्धतीने होईल याचे नियंत्रण ही गुणसूत्रे करतात. तसेच मूळच्या पेशीतील शारीरिक गुणधर्म नव्याने निर्माण होणाऱ्या दोन पेशींकडे कसे जातील व आई-वडिलांकडून मुलांमध्ये कसे उतरतील याचे नियंत्रणही गुणसूत्रेच करतात.

कार्ल बेंडा या जर्मन शास्त्रज्ञाने १८९८ साली असा शोध लावला, की पेशीच्या केंद्राबाहेर पेशीचे अनेक घटक असतात. त्यांना त्याने 'मायटोकॉंड्रिया' (तंतुकालिका) असे नाव दिले. 'मायटोकॉंड्रियन' हे याचे एकवचन.

तंतुकालिका श्वासोच्छ्वासाला जबाबदार आहेत असा कालांतराने शोध लागला. प्राणवायू व ग्लुकोजच्या साहाय्याने रासायनिक ऊर्जा निर्माण करण्याची क्षमता असणाऱ्या प्रत्येक पेशीत तंतुकालिका असतात व हा संयोग त्यातच होतो.

सर्वसाधारण तंतुकालिकेचा आकार हा १/१००० इंच लांब व

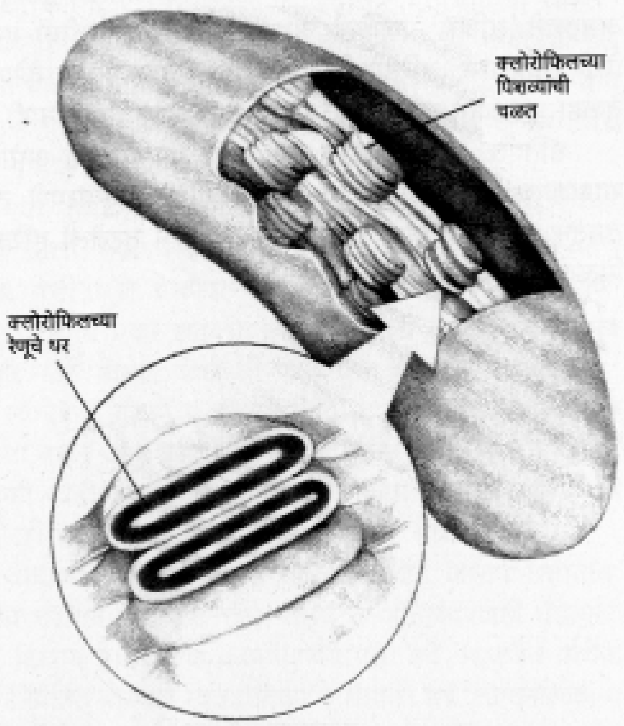
१/२५,००० इंच रुंद अशा सूक्ष्म फुटबॉलसारखा असतो. प्रत्येक पेशीत ते शेकडो पासून हजारोपर्यंत असू शकतात.

१९३० साली शास्त्रज्ञांनी इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शक बनवल्यानंतर नेहमीच्या सूक्ष्मदर्शक यंत्रातून न दिसणाऱ्या अतिसूक्ष्म वस्तूंचे निरीक्षण करणे शक्य झाले. तंतुकालिकेची रचनादेखील खूपच गुंतागुंतीची असते हे त्यानंतर लक्षात आले. त्यात 'विकरे' (एन्झाइम्स) नावाच्या प्रथिनांच्या विशेष रेणूंची मांडणी असते. प्रत्येक विकर एका विशिष्ट प्रकारचा रासायनिक बदल घडवून आणतात. या सर्वांच्या एकत्रितरीत्या कार्य करण्याने अनेक बदल एकामागून एक असे घडून अखेर प्राणवायू व ग्लुकोजच्या संयोगातून रासायनिक ऊर्जा निर्माण होते.

तंतुकालिका हा पेशीचा सूक्ष्म भाग (ऑर्गनेल) जर वनस्पती व प्राणी या दोघांच्याही पेशीत असून त्यामुळेच श्वासोच्छ्वास शक्य होत असेल, तर प्रकाशसंश्लेषण होण्यासाठी वनस्पतींमध्ये आणखी एक निराळा भाग (ऑर्गनेल) असतो का?

याचे उत्तर 'होय' असेच आहे. प्रकाशसंश्लेषणामुळे पिष्टमय पदार्थ बनतात हा शोध लावणाऱ्या ज्युलियस फॉन साक्स यानेच १८८३ साली असाही शोध लावला, की वनस्पतींमधील हरितद्रव्य संपूर्ण पेशीत पसरलेले नसते. पेशीतील एका किंवा अनेक भागांमध्येच ते सापडते. कालांतराने अशा भागांना 'हरितपेशी' अथवा 'हरितलवके' (क्लोरोप्लास्ट्स) असे नाव देण्यात आले.

हरितपेशी तंतुकालिकेपेक्षा दोन किंवा तीन पटीने अधिक लांब व जाड असते. तिची रचना अधिकच गुंतागुंतीची असते. इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शक यंत्रातून पाहिले असता, हरितपेशींत अनेक सूक्ष्म घटक असतात व प्रत्येकात २५० ते ३०० पर्यंत हरितद्रव्याचे रेणू असतात असे दिसून आले. विशिष्ट प्रतिक्रिया निर्माण करणारी अनेक विकरेही त्यात असतात.



क्लोरोप्लास्ट

म्हणूनच हरितद्रव्याचा रेणू एकटा असताना प्रकाशसंश्लेषण घडवून आणू शकत नाही. त्यांना गटागटाने काम करावे लागते, शिवाय विशिष्ट विकरांचीही त्यांना गरज भासते.

एखादी पेशी उघडून पाहिल्यास, न तुटलेली तंतुकालिका सहज मिळवता येतो. हरितपेशी मोठी व अधिक गुंतागुंतीची असल्याने अधिक नाजूकही असते. बहुधा, वनस्पतीची एखादी पेशी तोडल्यास, हरितपेशीचेही तुकडे होतात आणि कोणताच तुकडा एकट्याने प्रकाशसंश्लेषण घडवून आणू शकत नाही.

डॅनिएल आय. आर्नान (१९१०-) या पोलिश-अमेरिकन शास्त्रज्ञाला १९५४ साली वनस्पतीची पेशी हळुवारपणे तोडून त्यातून प्रकाशसंश्लेषण करू शकेल अशी, न तुटलेली हरितपेशी मिळवण्यात यश आले.

४ | मधले दुवे

तंतुकालिका व हरितपेशी इतक्या गुंतागुंतीच्या का आहेत? तंतुकालिका ग्लुकोज व प्राणवायूच्या संयोगातून कर्बद्विप्राणील वायू व पाणीच का बनवत नाहीत? हरितपेशी कर्बद्विप्राणील वायू व पाणी यांच्या संयोगातून फक्त ग्लुकोज व प्राणवायू का तयार करत नाहीत? हे किती सोपे होणार, नाही का?

एक म्हणजे, जर ग्लुकोज आणि प्राणवायूचा एका झटक्यात संयोग झाला, तर एकदम खूपच मोठ्या प्रमाणावर ऊर्जा निर्माण होईल. पेशींना ते पेलणार नाही. कर्बद्विप्राणील वायू व पाणी यांचाही तसाच एका झटक्यात संयोग झाला तर एकदम बऱ्याच ऊर्जेची गरज भासेल. पेशी ती गरज पुरवू शकणार नाहीत.

त्याऐवजी दोन्ही प्रकारच्या क्रिया टप्प्याटप्प्याने घडतात. एक छोटासा बदल घडून आला की दुसरा लहान बदल घडतो, म्हणजे दर वेळी थोडीशीच ऊर्जा निर्माण होते किंवा वापरली जाते. पेशी हा दोन्ही प्रकारचा छोटासा बदल सहजपणे हाताळू शकतात.

याचाच अर्थ, सर्व लहान बदल नियंत्रित असावे लागतात. काहीच चटकन घडायला नको, तसेच ते अतिसंथपणेही घडायला नको, शिवाय ते ठरावीक क्रमानेच घडायला हवे. म्हणजेच प्रत्येक बदल नियंत्रित करणारे स्वतंत्र विकर असायला हवे. तंतुकालिका व हरितपेशींची रचना अशी हवी, की त्यांचे कार्य सुरळीतपणे पार पडू शकेल.

या लहान लहान बदलांमधून, एका टोकाला ग्लुकोज आणि कार्बद्विप्राणील वायू व पाणी यांच्यामधील रेणूंची एक साखळीच तयार होते. तशीच ती उलट्या प्रकारच्या बदलातही तयार होते.

साखळीतील या रेणूंना इंग्रजीत म्हणतात 'इंटरमीजिएट्स'. मराठीत आपण त्यांना 'मधले दुवे' म्हणू या. हे रेणू अगदी लहान प्रमाणात उपलब्ध असतात. कारण ते बनल्यावर लगेच त्यांच्यात साखळीतील पुढील बदल घडतो व त्यांचे स्वरूप बदलते.

१९०५ साली ऑर्थर हार्डन (१८६५-१९४०) हा इंग्रज शास्त्रज्ञ काही पेशी ग्लुकोजचे अल्कोहोल व कर्बद्विप्राणील वायूत विघटन कसे करतात यावर संशोधन करत होता. या बदलासाठी प्राणवायूची आवश्यकता नसते व श्वासोच्छ्वासापेक्षा ही साधीच प्रक्रिया असली, तरी ती बरीचशी श्वासोच्छ्वासासारखीच असते आणि तीदेखील टप्प्याटप्प्यानेच घडून येते.

पेशी ज्या पाण्यात तरंगत होत्या त्यात कर्बद्विप्राणील वायूचे बुडबुडे निघत होते, यावरून ग्लुकोजचे विघटन होत होते हे स्पष्टच दिसत होते. थोड्या वेळाने हे बुडबुडे येणे कमी होता होता पूर्णपणे थांबले. या पेशी जिवंत होत्या व त्यात अजूनही बरेचसे ग्लुकोज शिल्लक होते, तरीही ही प्रक्रिया का थांबली असावी?

ग्लुकोजचे विघटन होण्यासाठी आवश्यक असणारा कोणता तरी घटक संपला असावा अशी हार्डनला शंका आली. त्याने या मिश्रणात निरनिराळे पदार्थ टाकून पाहिले. आश्चर्याची गोष्ट म्हणजे, फॉस्फेट नावाचे खनिज थोड्याशा प्रमाणात यात मिसळल्यावर बुडबुडे येण्याची ही प्रक्रिया परत सुरू झाली. फॉस्फेटमध्ये फॉस्फरस या मूलद्रव्याचे अणू असतात. ग्लुकोजच्या विघटनाशी फॉस्फेटचा काही संबंध असेल, असे तोपर्यंत कोणालाच वाटले नव्हते.

फॉस्फेटचे अणू असणारा हा कोणता पदार्थ असेल, हे शोधून काढण्यासाठी हार्डनने ग्लुकोजच्या मिश्रणाचे परीक्षण केले. ग्लुकोजचे त्याच प्रकारच्या फ्रुक्टोज नावाच्या एका साखरेत रूपांतर झाले होते व फ्रुक्टोजच्या रेणूत दोन फॉस्फेटवर्ग होते. या संयुगाला 'फ्रुक्टोज डायफॉस्फेट' असे नाव देण्यात आले. ग्लुकोजच्या

विघटनाच्या किंवा बनण्याच्या प्रक्रियेतील हा पहिला दुवा होता.

या शोधासाठी हार्डनला १९२९ साली रसायनशास्त्राचे नोबेल पारितोषिक मिळाले.

त्यानंतर अनेक दुव्यांचा शोध लागला. हळूहळू ग्लुकोज व प्राणवायूपासून ते कार्बद्विप्राणील वायू व पाण्यापर्यंत पोचणारे सर्व दुवे शोधून काढण्यात आले. अनेक मधल्या दुव्यांमध्ये फॉस्फेटवर्ग होते व एका रेणूकडून दुसऱ्या रेणूकडे उपयुक्तरीत्या व वापरता येण्याजोग्या प्रमाणात ऊर्जा पोचवण्याचे कार्य करताना फॉस्फेटची कामगिरी महत्त्वाची असते असेही या वेळी लक्षात आले.

फॉस्फेट या महत्त्वाच्या दुव्याशिवायच ग्लुकोजचे विघटन करणे हे एखादी १०० रुपयांची नोट मिळण्यासारखे होईल. ही मोठीच रक्कम आहे. ही नोट घेऊन आपण जर लिमलेटच्या गोळ्या विकत घ्यायला किंवा स्थानिक बसने जवळचा प्रवास करायला गेलो आणि दुकानदाराने किंवा बसच्या वाहकाने त्याच्याकडे सुटे पैसे नाहीत म्हणून ही नोट घेतलीच नाही, तर आपल्याला त्याचा काहीच उपयोग होणार नाही.

त्याऐवजी ती १०० रुपयांची नोट मोडून जर आपण ५०,२०,१० व ५ रुपयांच्या नोटा आणि काही नाणी घेतली, तर त्याच १०० रुपयांचा आपल्याला अधिक उपयोग होईल, कारण गरजेप्रमाणे योग्य त्या लहान रकमा आपल्याला देता येतील.

फॉस्फेटच्या दुव्यांमुळे पेशींना लहान प्रमाणात ऊर्जा मिळते व तिचा सहजपणे वापर करता येतो. अॅडिनोझीन ट्रायफॉस्फेट' (हे एटीपी या त्याच्या लघुरूपानेच ओळखले जाते) नावाचा दुवा यासाठी विशेष उपयोगी पडतो. शरीरात ज्या ज्या वेळी ऊर्जेची गरज भासते, त्या वेळी याचा वापर केला जातो.

तथापि, श्वासोच्छ्वासाच्या टप्प्यांचा अभ्यास करणे हे प्रकाशसंश्लेषणाच्या अभ्यासापेक्षा सोपे ठरले.

याचे एक कारण म्हणजे, श्वासोच्छ्वास निरनिराळ्या टप्प्यांत घडवून आणता येतो, म्हणून प्रत्येक टप्प्याचा स्वतंत्रपणे तपशीलवार अभ्यास करता येतो. अखेर तुकडे जोडून बनवण्याच्या कोड्याप्रमाणे हे सर्व टप्पे नंतर एकमेकांना जोडता येतात; पण प्रकाशसंश्लेषण मात्र हरितपेशी एकसंध असेल तरच घडून येते आणि त्यातून मिळणारे निष्कर्ष इतके गुंतागुंतीचे असतात, की त्यांचा तपशीलवार अभ्यास करणे अशक्यच होते.

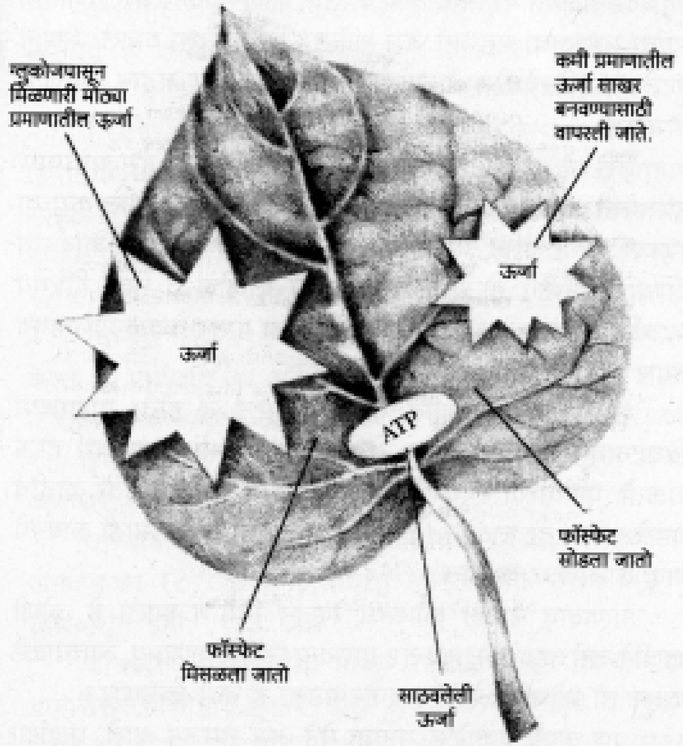
शिवाय सुरुवातीला शास्त्रज्ञांनी चुकीच्याच पद्धतीने हा प्रश्न सोडवण्याचा प्रयत्न केला.

श्वसनात आपण जर प्राणवायू घेऊन कर्बद्विप्राणील वायू बाहेर टाकत असलो, तर शरीरातील कार्बनशी प्राणवायूचा संयोग होतच असणार. हे तर योग्यच आहे. तसेच शरीरातील हायड्रोजनच्या घटकांशी प्राणवायूचा संयोग होऊन त्यातून पाणी बनत असणार. पण शास्त्रज्ञांनी पाण्याकडे फारसे लक्षच दिले नाही. सजीवांच्या वजनापैकी निदान दोन-तृतीयांश तरी पाणीच असते. श्वासातील थोड्याफार पाण्याने यात काहीच फरक पडत नाही.

म्हणून शास्त्रज्ञांनी कर्बद्विप्राणील वायूवरच आपले लक्ष केंद्रित केले. श्वसनात प्राणवायू व कार्बनच्या मिश्रणाने कर्बद्विप्राणील वायू तयार होतो, म्हणून प्रकाशसंश्लेषणात याच्या नेमके उलट घडत असणार अशी त्यांना खात्री वाटू लागली. प्रकाशसंश्लेषणात कर्बद्विप्राणील वायूचे विघटन होऊन कार्बनचा एक अणू व प्राणवायूचे दोन अणू वेगळे होऊन प्राणवायूचा एक रेणू बनत असणार. प्राणवायूचे रेणू हवेत सोडले जात असणार व कार्बनच्या सहा अणूंचे पाण्याच्या साहाय्याने ग्लुकोज बनत असणार.

हे असेच घडत असणार असे शास्त्रज्ञांना १९३७ सालापर्यंत वाटत होते.

रॉबर्ट हिल या इंग्रज शास्त्रज्ञाने पानातील हरितपेशी १९३७



साली वेगळ्या केल्या. तसे करताना हरितपेशी तुटली व त्यातून प्रकाशसंश्लेषण होईना. हरितपेशीमधून काहीतरी निघून गेले असणार असे हिलला वाटले, म्हणून त्याने ती कमतरता भरून काढण्यासाठी निरनिराळे पदार्थ मिसळण्याचा प्रयत्न केला. लोह असणारे काही रेणू श्वसनक्रियेत महत्त्वाचे कार्य करतात म्हणून प्रकाशसंश्लेषणातही त्यांचा महत्त्वाचा सहभाग असू शकेल, असे हिलला वाटले. म्हणून तुटलेल्या हरितपेशीमध्ये त्यांनी लोह असणारे रेणू लहान प्रमाणात मिसळले.

तसे केल्यावर, प्रकाशसंश्लेषणातून बनत असल्याप्रमाणे हरितपेशीमधून प्राणवायू तयार होऊ लागला. कर्बद्विप्राणील वायूच्या रेणूंच्या विघटनातून प्राणवायू तयार होत असेल, तर कार्बनचा पाण्याशी संयोग होऊन त्यातून प्रथम ग्लुकोज व नंतर पिष्टमय पदार्थ बनायला हवे होते; परंतु तसे न होता यातून केवळ प्राणवायूच तयार होत होता.

म्हणजे कर्बद्विप्राणील वायूचे विघटन न होता पाण्याच्या विघटनातून प्राणवायू तयार होत असावा, असा याचा अर्थ होऊ शकतो. पाण्याच्या रेणूचेच जर विघटन झाले असेल व इतर काहीच घडले नसेल, तर ग्लुकोज किंवा पिष्टमय पदार्थ बनण्यासाठी कार्बनचे अणू उपलब्धच नसतील.

प्राणवायू नेमका कोणत्या रेणूतून निर्माण झाला हे कोणी खात्रीने कसे काय सांगू शकेल? प्राणवायू म्हणजे प्राणवायू, त्याच्याकडे पाहून तो कोणत्या रेणूतून बाहेर पडला हे कसे कळणार?

पण काही प्रकारे हे सांगता येते असे समजून आले. एखाद्या मूलद्रव्याचे सर्वच अणू एकसारखे नसतात असे १९१२ सालापर्यंत माहीत झाले होते. रासायनिकदृष्ट्या त्यांचे गुणधर्म जरी सारखेच असले, तरी त्यातील काही वजनाने इतरांपेक्षा किंचित जड असतात. उदाहरणार्थ, विल्यम फ्रॅन्सिस जीओके (१८९५-१९८२) या

अमेरिकन शास्त्रज्ञाने असा शोध लावला, की प्राणवायूचे बहुतेक सर्व अणू एकाच प्रकारचे- म्हणजे 'ऑक्सिजन-१६' या प्रकारचे असतात; पण लहान प्रमाणात 'ऑक्सिजन-१८' या प्रकारचे अणूही त्यात असतात.

कालांतराने या दोन प्रकारचे प्राणवायूचे अणू कसे वेगळे करायचे हे शास्त्रज्ञांना कळून चुकले. ऑक्सिजन-१८ हे अणू असणाऱ्या प्राणवायूपासून ते पाणी तयार करू शकत होते.

१९४१ साली मार्टिन डेव्हिड कॅमेन (जन्म १९१३) या कॅनेडियन-अमेरिकन शास्त्रज्ञाने प्रकाशसंश्लेषण करणाऱ्या झाडांना बरेचसे ऑक्सिजन-१८ असणारे पाणी घातले. नेहमीचा कर्बद्विप्राणील वायू व ऑक्सिजन-१६ हा त्यांना मिळत होताच; पण ऑक्सिजन-१८ मात्र जवळजवळ मिळणार नाही याची त्याने काळजी घेतली.

त्यानंतर कॅमेनने या झाडांनी तयार केलेल्या प्राणवायूचा अभ्यास केला. हा प्राणवायू जर ऑक्सिजन-१६ चा बनलेला असेल, तर तो कर्बद्विप्राणील वायूतून आला असणार. पण त्यात जर ऑक्सिजन-१८ चे बरेच अणू असतील, तर मात्र तो पाण्यापासून बनला असणार.

पाण्यापासून तयार झालेल्या प्राणवायूत जितक्या प्रमाणात ऑक्सिजन-१८ चे अणू असायला हवेत, नेमके तसेच अणू या प्राणवायूत होते.

याबाबत मग काहीच शंका राहिली नाही. याचा अर्थ, प्रकाशसंश्लेषणाद्वारे प्रकाशातील ऊर्जा वापरून झाडे पाण्याच्या रेणूचे हायड्रोजन व प्राणवायूच्या अणूत विघटन करतात. त्यानंतर जर हरितपेशी शाबूत असेल व त्यात सर्व विकरे उपस्थित असतील, तर हायड्रोजन व कर्बद्विप्राणील वायूच्या संयोगाने ग्लुकोज व पिष्टमय पदार्थ बनतात आणि प्राणवायू हवेत सोडला जातो.

पाण्याच्या रेणूचे विघटन झाल्यावर काय घडते त्याचे तपशील

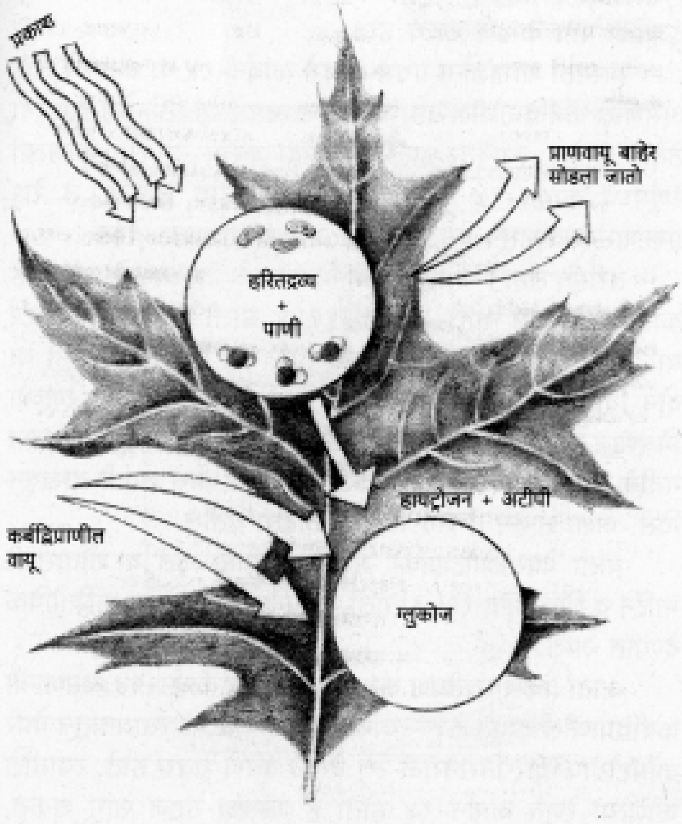
शास्त्रज्ञांना अद्याप समजून घ्यायचे होते. फॉस्फेट असणाऱ्या रेणूंचा यात काहीतरी सहभाग असणार याची त्यांना खात्री वाटत होती, पण हे नेमके कोणते रेणू असणार हे कसे शोधायचे?

ऑक्सिजन-१८ ची मुख्य अडचण म्हणजे, तो वेगळा करून ओळखण्यासाठी बराच वेळ लागतो; पण प्रकाशसंश्लेषण होताना तयार होणारे मधले दुवे फारच थोड्या वेळात तयार होतात आणि लगेचच नाहीसेही होतात. शिवाय संशोधन करता येण्यासाठी ऑक्सिजन-१८ मिळवण्याकरिता मधल्या दुव्यांची मोठ्या प्रमाणात गरज असते; आणि हे दुवे तर सूक्ष्म प्रमाणातच अस्तित्वात असतात. म्हणून अगदी सूक्ष्म प्रमाणातील दुवेही चटकन ओळखता येतील असे काहीतरी शास्त्रज्ञांना मिळायला हवे होते.

फ्रेडेरिक ज्युलिओ क्युरी (१९००-१९५८) व त्यांची पत्नी आयरेन (१८९७-१९५६) या दोन फ्रेंच शास्त्रज्ञांनी असा शोध लावला, की काही किरणोत्सर्गी प्रकारचे अणू बनवता येतात. यांचे इतर अणूंमध्ये विघटन झाले असता एक प्रकारचा किरणोत्सर्ग बाहेर पडतो. हा किरणोत्सर्ग कितीही लहान प्रमाणात असला, तरी सहजपणे व चटकन ओळखता येतो. या संशोधनासाठी ज्युलिओ क्युरीला १९३५ साली रसायनशास्त्राचे नोबेल पारितोषिक देण्यात आले.

प्राणवायू व हायड्रोजनचे किरणोत्सर्गी अणू असतात, पण ते इतके चटकन विघटन होऊन नाहीसे होतात, की त्यांच्यासंबंधीचे कोणतेही प्रयोग फारच थोड्या वेळात पूर्ण करावे लागतात. कार्बन-११ नावाचा कार्बनचाही एक किरणोत्सर्गी प्रकार आहे, पण त्याचेदेखील फार चटकन विघटन होत असल्याने तोही वापरायला कठीणच आहे.

ज्या कॅमेनने प्रकाशसंश्लेषणात प्रकाशातील ऊर्जेमुळे पाण्याच्या रेणूचे विघटन होते असे सिद्ध केले होते, त्याच कॅमेनने १९३९ साली आणखी एक शोध लावला. त्याने कार्बन-१४ नावाचा एक



प्रकाश संश्लेषण

किरणोत्सर्गी कार्बन शोधून काढला. त्याचे विघटन इतक्या संथ गतीने होते, की तो हजारो वर्षे टिकून राहतो.

सजीवांमध्ये कार्बनचे अणू सर्वाधिक महत्त्वाचे असतात आणि आता कार्बन-१४ चा उपयोग करून प्रकाशसंश्लेषणातील मधल्या दुव्यांचा माग काढणे शक्य होते.

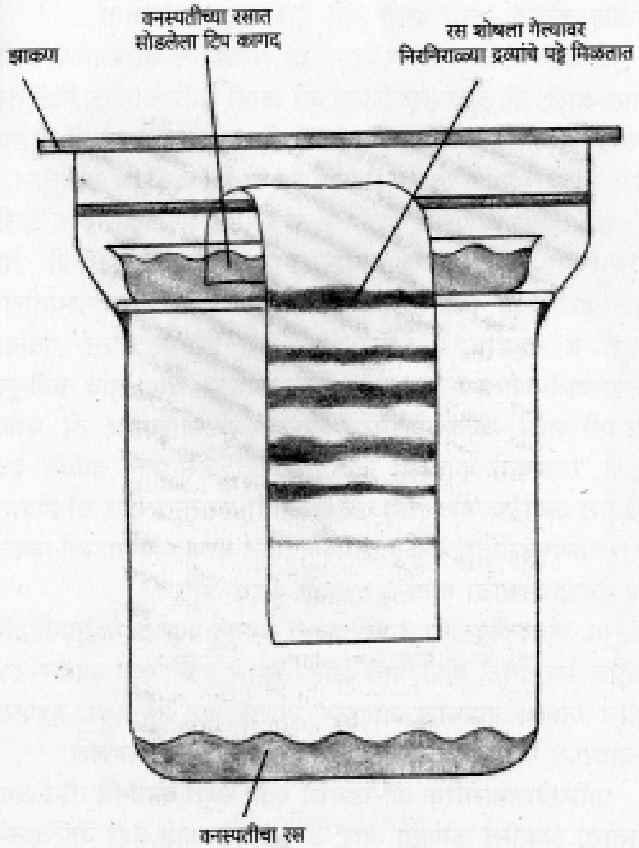
यासाठी शास्त्रज्ञांना प्रथम बरेचसे कार्बन-१४ या प्रकारचे अणू असणारा कर्बद्विप्राणील वायू व प्रकाश असलेल्या ठिकाणी झाडांना ठेवावे लागेल. त्यानंतर झाडांचा लगदा करून नेमक्या कोणत्या रेणूंमध्ये कार्बन-१४ आहे हे शोधून काढावे लागेल. ते रेणू प्रकाशसंश्लेषणातून बनले आहेत असे मग म्हणता येईल.

तरीही लहान प्रमाणातील निरनिराळे रेणू वेगळे करणे हे काही सोपे काम नाही. तथापि, १९४४ साली आर्चर जॉन पोर्टर मार्टिन (१९१०-) व रिचर्ड लॉरेन्स मिलिंग्टन सिंज (१९१४-) या दोन बिटिश शास्त्रज्ञांनी याचा एक मार्ग शोधून काढला. रेणूंच्या मिश्रणात जर एखादा टिपकागद बुडवला, तर प्रत्येक रेणू वेगवेगळ्या गतीने कागदाच्या वरच्या बाजूकडे सरकतात, असे त्यांनी दाखवून दिले. अशा तऱ्हेने ते सर्व निराळे काढता येतील.

याला 'पेपर क्रोमॅटोग्राफि' असे नाव देण्यात आले. या शोधासाठी मार्टिन व सिंज यांना १९५३ साली रसायनशास्त्राचे नोबेल पारितोषिक देण्यात आले.

आता प्रकाशसंश्लेषण करणाऱ्या झाडांना कार्बन-१४ असणाऱ्या कर्बद्विप्राणील वायूत ठेवून त्यांनी निर्माण केलेल्या रसायनातून पेपर क्रोमॅटोग्राफीद्वारे निरनिराळे रेणू वेगळे करणे शक्य होते. त्यातील कोणत्या रेणूत कार्बन-१४ होता हे शास्त्रज्ञ सहज सांगू शकत. कार्बन-१४ दीर्घकाळापर्यंत टिकून राहात असल्याने शास्त्रज्ञ शांतपणे, काळजीपूर्वक प्रत्येक रेणू ओळखून काढू शकत, कारण त्यातील कार्बन-१४ नष्ट होत नसे.

पेपर क्रोमॅटोग्राफी



सुरुवातीला हे प्रयोग चांगले यशस्वी झाले. खूप गुंतागुंतीचे मिश्रण तयार झाल्यावर त्यातील रेणू पेपर क्रोमॅटोग्राफीद्वारे वेगळे केले गेले; परंतु कार्बन-१४ असणारे इतके निरनिराळे रेणू होते, की त्यातील कोणते आधी बनले होते हे शास्त्रज्ञांना कळेना.

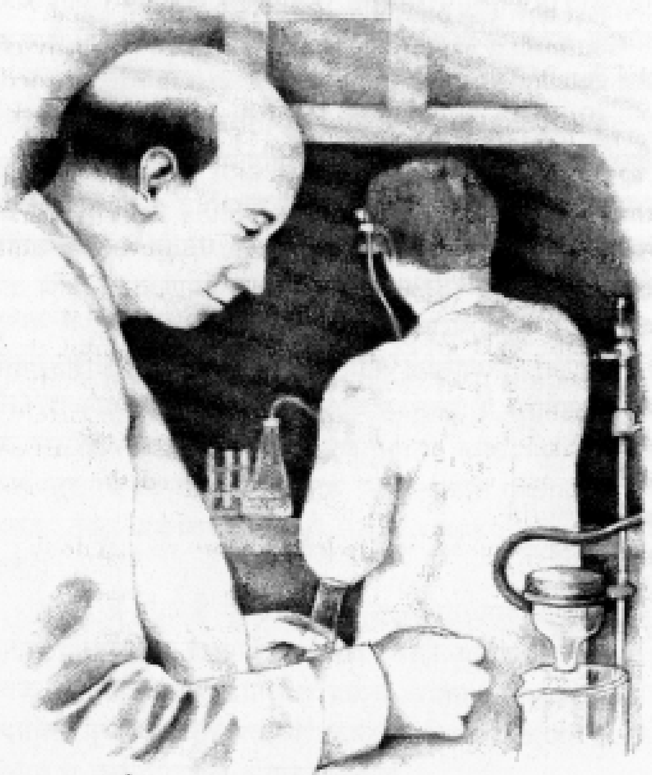
मेल्व्हिन कॅल्व्हिन (१९११-) या अमेरिकन शास्त्रज्ञाच्या असे लक्षात आले, की प्रकाशसंश्लेषण जर काही सेकंदच होऊ दिले तर ही अडचण सोडवता येईल. त्या काही सेकंदांत केवळ काही थोडेच पदार्थ तयार होतील आणि ते सर्व सुरुवातीचे पदार्थच असतील.

कॅल्व्हिनने आपल्या संशोधनाला १९४८ साली सुरुवात केली व त्यासाठी त्याने पाण्यात वाढणाऱ्या एकपेशीय 'ॲल्जी' या शेवाळ्यासारख्या वनस्पतीचा वापर केला. या पाणवनस्पतीला प्रकाश व नेहमीचा कर्बद्विप्राणील वायू मिळत होता. एकदा प्रकाशसंश्लेषणाला सुरुवात झाल्यावर काचेच्या एका लांब नळीतून वनस्पती गरम अल्कोहोलमध्ये गाळण्यात आल्यावर ती मरण पावली. वनस्पती काचेच्या नळीतून जात असताना, कार्बन-१४ असणारा कर्बद्विप्राणील वायू उकळत्या पाण्यातून त्यात सोडण्यात आला. पाणवनस्पती अल्कोहोलमध्ये पोचून मरण पावण्यापूर्वी फक्त पाच सेकंदच त्यांचा कार्बन-१४ शी संबंध आला.

या पाणवनस्पतींचा लगदा करून त्यातून पेपर क्रोमॅटोग्राफीद्वारे त्यातील रेणू वेगळे काढण्यात आले. सुमारे ९० टक्के कार्बन-१४ यातील एकाच पदार्थात आढळून आला. या संयुगाचा अभ्यास केल्यावर ते फॉस्फोग्लायसेरिक ॲसिड असल्याचे समजले.

फॉस्फोग्लायसेरिक ॲसिडमध्ये एका रेणूत कार्बनचे तीन अणू असतात. त्यातील कोणता अणू कार्बन-१४ आहे हेही कॅल्व्हिनने शोधून काढले. त्यामुळे फॉस्फोग्लायसेरिक ॲसिड कशा प्रकारे बनले हेही दिसून आले.

अनेक प्रयोग केल्यानंतर अखेर प्रकाशसंश्लेषणातील अत्यंत



मेल्व्हिन केल्व्हिन

गुंतागुंतीच्या बदलांतील तपशील समजले. या संशोधनासाठी कॅल्व्हिनला १९६१ साली रसायनशास्त्राचे नोबेल पारितोषिक मिळाले.

दोनशे वर्षांपूर्वी, वनस्पती प्राणवायू तयार करतात असा प्रिस्टलेने प्रथम शोध लावला, तेव्हापासून आतापर्यंत आपल्याला प्रकाश-संश्लेषणाबद्दल बरीच माहिती मिळाली आहे. तथापि, अजूनही सर्व तपशील समजलेले नाहीत.

हिरव्या वनस्पती त्यांच्या गुंतागुंतीच्या हरितपेशींच्याद्वारे जे काही करतात ते करण्याचा एखादा सोपा मार्ग अद्यापही आपल्याला सापडलेला नाही. ते जर समजले, तर कदाचित कर्बद्विप्राणील वायू व पाणी यांच्याशी सूर्यप्रकाशाचा संयोग घडवून आपण शर्करा, पिष्टमय पदार्थ व इतर अन्नपदार्थ मोठ्या प्रमाणावर निर्माण करू शकू. त्यातून जगभरातील लोकांची गरज भागू शकेल.

पण ते करण्यासाठी आपल्याला अजून बरेच काही शिकण्याची गरज आहे.

५ | सुरुवात

सर्वप्रथम प्रकाशसंश्लेषणाची सुरुवात कशी काय झाली? शास्त्रज्ञांना हे माहीत नाही, कारण त्या वेळी ते नव्हते. अर्थात, ते कसे काय सुरू झाले असेल याची कारणमीमांसा ते करू शकतात.

साडेचार अब्ज वर्षांपूर्वी पृथ्वी जेव्हा प्रथम अस्तित्वात आली, तेव्हा तिच्यावर जीवन नव्हते. म्हणून त्या वेळी हवेत प्राणवायू असणे शक्य नाही.

प्राणवायू हा एक अतिशय क्रियाशील पदार्थ आहे. इतर अनेक अणूंशी त्याचा सहज संयोग होतो. अचानक जर पृथ्वीवरील जीवन नष्ट झाले, तर आता हवेत असलेल्या प्राणवायूचा जमिनीतील निरनिराळ्या अणूंशी संयोग होईल व हळूहळू तो संपुष्टात येईल. प्रकाशसंश्लेषणाद्वारे पाण्याच्या रेणूतून तो सतत निर्माण होत आहे म्हणूनच तो अस्तित्वात आहे. ज्या काळात पृथ्वीवर जीवन नव्हते, तेव्हा प्रकाशसंश्लेषणही नव्हते म्हणून प्राणवायूदेखील नव्हता.

मंगळ व शुक्र हे पृथ्वीच्या सर्वात जवळ असणारे दोन ग्रह आहेत. दोघांवरही हवा आहे, पण जीवन नाही. परिणामी, त्या हवेत केवळ नत्रवायू व कर्बद्विप्राणील वायूच आहेत, प्राणवायू नाही. कदाचित पृथ्वीच्या सुरुवातीच्या काळात तिच्या हवेतही केवळ नत्रवायू व कर्बद्विप्राणील वायूच असतील.

पाणी द्रव स्वरूपात असण्यासाठी शुक्र फारच उष्ण आहे आणि मंगळ अतिशय थंड. पृथ्वीचे तापमान मात्र नेमके योग्य असेच आहे, म्हणून तिच्यावर पाण्याचे मोठमोठे महासागर आहेत, ही फारच महत्त्वाची बाब आहे. महासागरांमुळे पृथ्वीच्या वातावरणात

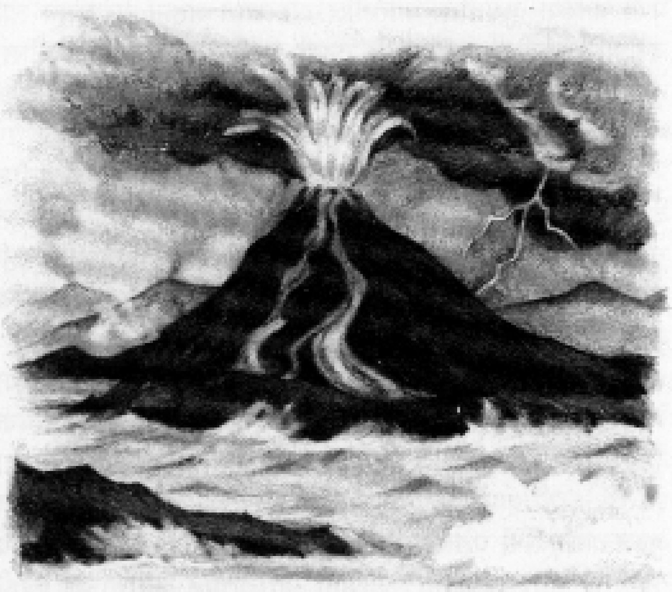
मोठ्या प्रमाणावर पाण्याची वाफही आहे. शिवाय, सुरुवातीला कदाचित मिथेन व अमोनिया यांसारखे वायूही असतील. मिथेनच्या रेणूत कार्बनचा एक व हायड्रोजनचे चार अणू असतात. अमोनियाच्या रेणूत नत्रवायूचा एक व हायड्रोजनचे तीन अणू असतात.

नत्रवायू, कर्बद्विप्राणील वायू, पाणी, मिथेन व अमोनिया या सर्वांचे रेणू लहानसे असतात. ऊर्जा मिळाल्यास या रेणूंची निरनिराळी संयुगे बनून मोठ्या आकाराचे रेणू तयार होतात. पृथ्वीच्या सुरुवातीच्या काळात विजा व ज्वालामुखींच्या उद्रेकाच्या रूपाने ऊर्जा उपलब्ध झाली असेल. बहुधा सर्वात महत्त्वाचे म्हणजे सूर्यप्रकाश, विशेषत: आपल्या डोळ्यांना न दिसणारा अतिनील (अल्ट्रा व्हायोलेट) प्रकाश. याच्यातील ऊर्जेने त्वचा भाजते असे आपण म्हणतो.

स्टॅन्ली लॉइड मिलर (१९३०-) या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने पृथ्वीच्या सुरुवातीच्या काळात असू शकेल अशा प्रकारचे साध्या वायूंचे एक मिश्रण घेऊन त्यात ऊर्जास्रोत म्हणून विजेच्या ठिणग्या पाडल्या. एका आठवड्यानंतर लहान रेणूंच्या संयोगातून मोठे रेणू बनल्याचे त्याला आढळून आले.

नंतर इतरांनीही अशाच प्रकारचे प्रयोग केले व काही विशेष लक्ष देण्याजोगे मोठे रेणू बनल्याचे त्यांनाही दिसून आले. यात अमिनो ॲसिड्स होती आणि त्यांच्या संयोगाने प्रथिनांचे रेणू बनू शकतात. अणूंच्या पॉर्फायरिन रिंग्ज याच प्रकारे बनल्या असण्याचेही शक्य आहे.

ही सर्व संयुगे महत्त्वाचीच आहेत, कारण प्रथिनांमध्ये विकरे असतात व सजीवांतील रासायनिक बदलांचे तेच नियंत्रण करतात. न्युक्लिइक ॲसिड पेशींचे विभाजन नियंत्रित करून त्यातील गुणधर्म विभाजित पेशींकडे पाठवते. पॉर्फायरिन रिंग्ज हे रसायनातील कळीचे घटक असून श्वासोच्छ्वास व प्रकाशसंश्लेषण त्यांच्यामुळेच शक्य होते.



जीवन अस्तित्वात येण्यापूर्वीची पृथ्वी

सिडनी वॉल्टर फॉक्स (१९१२-) या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने असे दाखवून दिले, की अमिनो ॲसिड्स गरम केली असता त्यांचा प्रथिनांसारख्या रेणूंशी संयोग होतो. ते एका लहानशा गोळ्याप्रमाणे एकत्र येतात, ते पेशींसारखेच दिसतात व त्यांचे गुणधर्मही पेशींसारखेच असतात.

कदाचित पृथ्वीच्या सुरुवातीच्या दिवसांत प्रथिनांच्या अशा पेशी बनल्या असतील. अतिनील प्रकाशात लहान रेणूंपासून त्या बनल्या असतील व त्यातील काही सजीवांसारख्याही असतील. कदाचित सजीवांसारख्या असणाऱ्या पेशींनी निर्जीव पेशींचा अन्न म्हणून उपयोग करून घेतला असेल.

अशा प्रकारच्या प्रथिनांच्या पेशी साध्या व बेंगरुळ असतील व त्यांचे विभाजन व वाढ योग्य प्रकारे होत नसेल. कदाचित चांगल्या प्रकारे विभाजन होऊ शकणारे न्युक्लिइक ॲसिडचे काही गोळेदेखील बनले असतील; पण विकरांच्या अभावी ते दुसरे काहीच करू शकत नसतील.

कदाचित केव्हा तरी प्रथिनांच्या पेशी व न्युक्लिइक ॲसिडच्या पेशींचा संयोग झाला असेल. यातून बनलेल्या नव्या पेशी अधिक कार्यक्षम असतील. त्यांचे विभाजन योग्य रीतीने होत असेल व त्या इतरही काही कार्ये पार पाडू शकत असतील. कदाचित साडेतीन अब्ज वर्षांपूर्वी हे घडले असेल. त्यांना 'प्रोकॅरियोट्स' (म्हणजे केंद्र नसणारे) असे म्हणतात. आजही अस्तित्वात असणाऱ्या काही जिवाणूंचे ते पूर्वज असतील, पण आजच्या आधुनिक जिवाणूंपेक्षा त्यांचे स्वरूप बरेचसे साधे असेल.

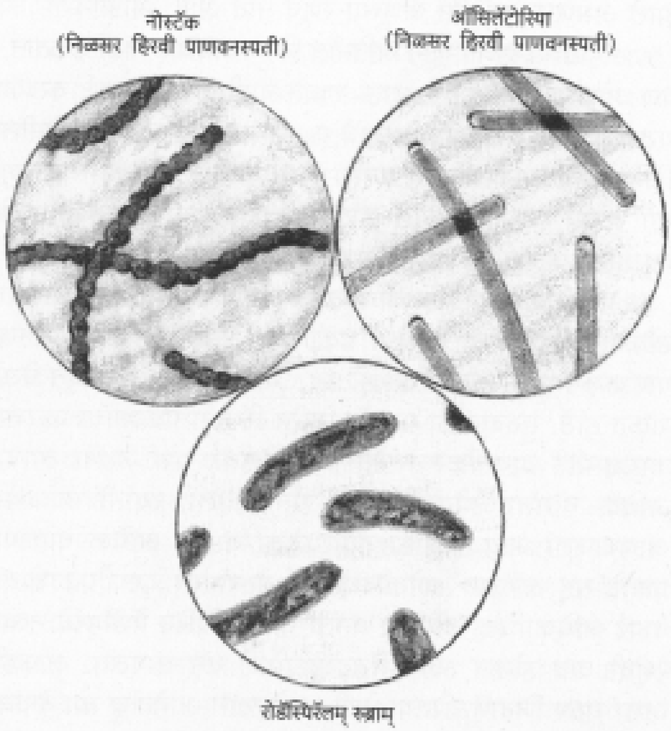
तथापि, हवा बदलतच होती. सूर्यातून येणाऱ्या अतिनील किरणांमुळे वरच्या थरातील हवेतील पाण्याच्या वाफेच्या रेणूंचे हायड्रोजन व प्राणवायूच्या अणूंमध्ये विघटन झाले असेल. हायड्रोजनचे अणू इतके लहान व वजनाने हलके होते, की पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणाने

ते पृथ्वीकडे आकर्षिले न जाता अवकाशात निसटून गेले असणार. वरच्या थरात राहिलेल्या प्राणवायूच्या अणूंचे अतिनील किरणांच्या प्रभावाने, नेहमीच्या दोन अणू असणाऱ्या प्राणवायूच्या रेणूऐवजी, अधिक ऊर्जा असणाऱ्या तीन अणू असणाऱ्या नव्या रेणूत रूपांतर झाले असणार. या तीन अणूंच्या रेणूचे नाव आहे 'ओझोन'.

नेहमीच्या प्राणवायूतून अतिनील किरण आरपार जाऊ शकतात, पण ओझोनमधून ते तसे जाऊ शकत नाहीत. याचा अर्थ, वरच्या थरातील हवेत जसजसे ओझोनचे प्रमाण वाढत गेले, तसे अतिनील किरण पृथ्वीवर पोचण्याचे प्रमाण कमी कमी होत गेले. साधे रेणू मग लहान प्रमाणात तयार होत गेले व सजीव पेशींना अन्नाची कमतरता जाणवून त्यांची उपासमार होऊ लागली.

पण पॉर्फायरिन रिंग्जची संयुगे बनून एकत्र येतच होती. साध्या डोळ्यांना दिसणारा नेहमीचा प्रकाश ओझोनचा अडथळा सहज पार करून पृथ्वीपर्यंत पोचत होताच. त्यातील ऊर्जा ते शोषून घेऊ शकत होते. सुरुवातीला या पॉर्फायरिन रिंग्जना प्रकाशाचा फारसा कार्यक्षमतेने वापर करून घेता येत नव्हता, पण ज्यांना त्याचा अधिक चांगला उपयोग करून घेता आला, त्यांनी आपल्या आजूबाजूला अन्नाचा साठा तयार केला व त्या अधिक चांगल्या प्रकारे राहू लागल्या. कोट्यवधी वर्षे गेल्यानंतर दृश्य प्रकाशाचा वापर अधिकाधिक कार्यक्षम बनला व पॉर्फायरिन पेशींमध्ये नव्या रेणूंची वाढ होऊन त्या हरितद्रव्याप्रमाणे बनू लागल्या. आजही अशा सूक्ष्म जिवाणूंसारख्या पेशी अस्तित्वात आहेत व त्या केवळ हरितपेशींप्रमाणेच असतात. त्यांना 'सायनोबॅक्टेरिया' म्हणतात व प्रोकॅरियोट्सचेच ते दुसरे रूप आहे.

हरितपेशींनी पाण्याच्या रेणूचे विघटन करून हायड्रोजनच्या अणूचा वापर अन्न बनवण्यासाठी केला. प्राणवायूचे अणू हवेत गेले व तेथे त्यांचे प्रमाण हळूहळू वाढू लागले. प्राचीन काळातील



प्रोकॅरियोट्स

(सूक्ष्मदर्शक यंत्रातून दिसणारे)

सजीवांना प्राणवायूच्या क्रियाशील अणूंचा वापर करता आला नाही व कालांतराने ते मरून गेले.

तथापि, पॉर्फायरिनच्या काही गोळ्यांमध्ये प्राणवायूचा वापर करून आणि त्यातून कार्बन व हायड्रोजनच्या संयोगातून ऊर्जा मिळवून देणारी विकरे तयार झाली. आजच्या तंतुकालिका व आणखी एका प्रकारच्या प्रोकॅरियोट्सचे ते पूर्वज होते, असे म्हणायला हरकत नाही.

दोन अब्ज वर्षांहून अधिक काळापर्यंत पृथ्वीवर केवळ प्रोकॅरियोट्सच अस्तित्वात होते.

हळूहळू प्रोकॅरियोट्सच्या संयोगातून मोठ्या व गुंतागुंतीच्या पेशी बनू लागल्या. यात न्युक्लिइक ॲसिड व प्रथिने होती आणि हरितपेशी व तंतुकालिका यांच्या संयोगाने त्या आधुनिक वनस्पतींच्या पेशींप्रमाणे दिसू लागल्या. काहींचा फक्त तंतुकालिकांशी संयोग होऊन त्यातून प्राण्यांच्या पेशी तयार झाल्या. या दोन्ही प्रकारांना 'युकॅरियोट्स' (म्हणजे केंद्र असणारे) असे एकच नाव आहे.

गेल्या अब्ज वर्षात युकॅरियोट्स हेच पृथ्वीवरील सर्वांत महत्त्वाचे सजीव होते. सुमारे ८० कोटी वर्षांपूर्वी त्यांच्यातूनच अनेक पेशी असणाऱ्या वनस्पती व प्राण्यांची निर्मिती झाली. हे सर्व अनेकपेशीय (मल्टिसेल्युलर) जीव होते.

जगात आता अनेक 'अनेकपेशीय' जीव आहेत- देवमासे, वडाची झाडे, मनुष्यप्राणी, फुलपाखरे, गुलाबाची फुले वगैरे वगैरे सर्व याचीच उदाहरणे आहेत. अर्थात, एकपेशीय वनस्पती व जिवाणू तसेच प्रोकॅरियोट्स आजही अस्तित्वात आहेतच. प्रत्यक्षात काही जिवाणू अजूनही प्राणवायूच्या सान्निध्यात जिवंत राहू शकत नाहीत. त्यांच्या पेशीत अद्यापही तंतुकालिकांचा समावेश झालेला दिसत नाही.

प्राणवायूवर जगू न शकणारे असे काही थोडे जिवाणू व

त्यांच्यावर जगणारे काही जिवाणू सोडल्यास, सर्वच सजीवांचे जीवन प्रकाशसंश्लेषणावर अवलंबून असते. प्रकाशसंश्लेषणाशिवाय, पृथ्वी अब्जावधी वर्षांपूर्वीच्या, केवळ साध्या पेशीच अस्तित्वात असण्याच्या स्थितीकडे परत जाईल.

याच कारणासाठी पर्यावरणवादी लोकांना हिरवी कुरणे व जंगले टिकवून ठेवायची आहेत. वातावरणातील प्राणवायूचा समतोल राखण्याचे महत्त्वाचे कार्य त्यांच्याद्वारे होते. पृथ्वीच्या वातावरणातील जीवनाचा आधार असलेला सूर्यप्रकाश रोखेल असे प्रदूषण त्यांना थांबवायचे आहे. शास्त्रज्ञांना असे प्रश्न शोधून त्यांची उत्तरेही मिळवावी लागतील. त्यातून पृथ्वीवरील प्रकाशसंश्लेषणाच्या कहाणीतील नवी प्रकरणे तयार होतील.